

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: M2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

**Návrh a realizace polohového servopohonu
s asynchronním elektromotorem pro dynamicky
nenáročné aplikace**

**Design and realization of position servodrive with
asynchronous electromotor for low dynamic
applications**

Diplomová práce

Autor: **Martin Dvořák**

Vedoucí práce: Ing. Martin Diblík, Ph.D.

Konzultant: Ing. Petr Přívratský, Ph.D.

V Liberci 2. 5. 2007

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra elektrotechniky

Akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro: **Martina Dvořáka**
studijní program: M 2612 – Elektrotechnika a informatika
obor: 3906T001 - Mechatronika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

**Návrh a realizace polohového servopohonu s asynchronním elektromotorem
pro dynamicky nenáročné aplikace**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s vlastnostmi a způsobem parametrizace frekvenčního měniče Siemens Micromaster MM440.
2. Analyzujte možnosti řídicí jednotky pro vytvoření polohové regulační smyčky.
3. Vybrané způsoby prakticky realizujte a ověřte vlastnosti a dynamiku takového servopohonu.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

4.5.2007

.....

Martin Dvořák

Poděkování

Za cenné rady a odborné vedení práce děkuji Ing. Martinu Diblíkovi, Ph.D. a Ing. Petru Přívratskému, Ph.D., díky nimž jsem také pochopil, jakou váhu mají nasbírané zkušenosti z technické branže. Své přítelkyni Ivoně Schejbalové děkuji za kontrolu pravopisu a oporu, kterou mi byla v závěru studia. Mým rodičům děkuji za vše, co udělali pro to, abych mohl studovat na Liberecké univerzitě, a za jejich nekonečnou trpělivost.

Anotace

Diplomová práce se zabývá možnostmi využití frekvenčně řízeného asynchronního elektromotoru měničem Micromaster MM440 jako polohového servopohonu. Za tímto účelem je sestaveno pracoviště se dvěma pohony. Zkoumaný pohon je společnou hřídelí spojen s druhým pohonem, tvořeným měničem Siemens Masterdrives Motion Control, a synchronním servomotorem. Druhý pohon slouží k měření kinematických veličin a současně představuje fyzickou zátěž zkoumaného pohonu. V měniči Siemens Micromaster MM440 je z volných funkčních bloků sestavena polohová regulační smyčka. Oba měniče komunikují s PC protokolem USS po sběrnících RS485 a RS232. Prostřednictvím PC je zadávána žádaná poloha a nastavovány parametry měniče. Ke sledování průběhu kinematických veličin pohonu je využit software DriveMonitor. Je sledováno chování pohonu při změnách parametrů proudového, rychlostního a vytvořeného polohového regulátoru. Výsledky jsou zpracovány graficky.

Micromaster MM440, servopohon, polohová regulační smyčka.

Annotation

The thesis focuses on possibilities of using frequency controlled asynchronous electromotor by Micromaster MM440 frequency converter as position servodrive. Workplace with two drivers is designed for this purpose. Tested drive is connected by common shaft with synchronous servo motor controlled by Masterdrive Motion Control frequency converter. Second drive is used for measurement of kinematics quantities and is used as controlled load on tested drive. Position control loop using free function blocks is created in MM440 converter. Both converters are communicating with PC by USS protocol on RS485 and RS232 bus. Position set point and converter parameters are set via PC. Drive monitor software is used for tracing kinematics quantities of tested drive. Drive behavior is monitored while changing current controller, speed controller and created position controller parameters. Results are graphically processed.

Micromaster MM440, servodrive, position control loop.

Obsah

Prohlášení	3
Poděkování	4
Anotace	5
Značky a symboly	8
Zkratky	9
Úvod	10
1. Elektrický pohon	11
1.1. Řízení pohonu	11
1.1.1. Regulace rychlosti AM	12
1.2. Servopohon	12
1.2.1. Regulace polohy	12
2. Způsoby řízení měničů kmitočtu	15
2.1. Skalární řízení	17
2.1.1. Kmitočtově proudové řízení	17
2.1.2. Kmitočtově napěťové řízení	18
2.2. Vektorové řízení	19
2.2.1. Princip vektorového řízení	19
3. Uspořádání pracovní stanice	21
3.1. Frekvenční měnič Micromaster MM440	23
3.2. Frekvenční měnič Siemens Masterdrives Motion Control	24
3.3. Asynchronní motor	25
3.4. Synchronní servomotor	25
3.5. Snímač otáček asynchronního motoru	26
3.6. Modul Encoder	26
4. Parametrizování měniče MM440	28
4.1. BICO technologie	28
4.2. Parametrizování pomocí software DriveMonitor	30

4.2.1. Omezení přístupu k parametrům	31
4.3. Volné funkční bloky	31
5. Vlastní sestavení servopohonu	33
5.1. Fyzické zapojení	33
5.2. Nastavení parametrů měniče	34
5.2.1. Sestavení polohové regulační smyčky	35
6. Měření vlastností servopohonu	37
6.1. Komunikace s PC po sériové lince	37
6.2. Zadávání žádané polohy	39
6.3. Zobrazování dat pomocí Trace	40
6.4. Získané výsledky měření	41
6.4.1. Vliv konstant technologického PID regulátoru	43
6.4.2. Vliv proporcionální složky polohového regulátoru	46
6.4.3. Chování pohonu při zatížení a jiném způsobu řízení	46
6.4.4. Vliv konstant rychlostního regulátoru	48
6.4.5. Nastavování meze pro zastavení pohonu	48
6.4.6. Získaný vztah pro nastavení pohonu	50
6.5. Srovnání s kvalitním polohovým regulátorem	53
Shrnutí	56
Závěr	58
LITERATURA	59
Seznam obrázků	61
Seznam tabulek	62
Příloha A – Blokové schéma frekvenčního měniče MM440	63
Příloha B – použité volné funkční bloky měniče MM440	64
Příloha C – Podrobná struktura Basic Positioneru	66

Značky a symboly

f	frekvence
f_1	frekvence napájecí sítě
F	magnetomotorické napětí
I	proud
\mathbf{I}	prostorový vektor statorového proudu
J	moment setrvačnosti
K	konstanta, zesílení
L	vlastní indukčnost
M	moment
M_d	moment dynamický
M_m	moment maximální
n	mechanická otáčivá rychlost rotoru stroje
p_p	počet pólových dvojic (pólpárů) stroje
R_1	odpor fáze statorového vinutí
R_2	odpor fáze rotorového vinutí
s	poměrný skluz
s_m	skluz zvratu
t	čas
u	okamžitá hodnota napětí
U	napětí
\mathbf{U}	fázor napětí
U, V, W	značení pro trojfázový systém
ε	úhlové zrychlení
v	poměrná úhlová rychlost vlastní frekvence
σ	činitel rozptylu
φ	úhel natočení
ω	úhlová rychlost
ω_m	úhlová rychlost rotoru
ω_s	úhlová rychlost synchronní
Ψ	spřažený magnetický tok
$\mathbf{\Psi}$	fázor zpraženého toku

Zkratky

AC	Alternating Current (střídavý proud)
AM	asynchronní motor
AS	asynchronní stroj
A/D	analogově-číslicový převodník
BICO	BInector-COnector (technologie pracující s binektory a konektory)
D/A	číslicově-analogový převodník
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
FFB	Free Function Blocks (volné funkční bloky)
HTL	označení napěťové úrovně signálu
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (nejběžnější výkonová polovodičová součástka)
IRC	Incremental Rotation Counter (snímač otáček)
MASTER	nadřazená úroveň řízení
MDMC	frekvenční měnič Siemens Masterdrives Motion Contorl
MM440	frekvenční měnič Siemens Micromaster 440
PC	Personal Computer (osobní počítač)
PID	Proporcionálně-Integračně-Derivační
PLC	Programable Logic Contorler (programovatelný řídicí automat)
RFG	Ramp Function Generator (generátor rampové funkce)
RS232/485	označení typu sériové komunikační linky
ŘS	řídicí systém
SM	synchronní servomotor
TTL	označení napěťové úrovně signálu
USS	druh protokolu pro sériovou komunikaci

Úvod

Diplomová práce vychází ze současného trendu řízení asynchronních elektromotorů frekvenčními měniči, které s rozvojem výkonové elektroniky dnes dosahují špičkových parametrů. Frekvenční měnič Siemens Micromaster MM440 je standardním typem měniče určeným pro plynulý start a stop motoru a provoz s měnitelnou rychlostí. Umožňuje skalární a vektorové řízení, regulaci proudu a řízení momentu. Předmětem této práce je prozkoumat možnosti jeho řídicí jednotky pro regulaci polohy. Pokud by se povedlo vytvořit polohovou regulační smyčku, mohl by pohon s tímto měničem nahradit v dynamicky a polohově nenáročných aplikacích specializované polohové servopohony.

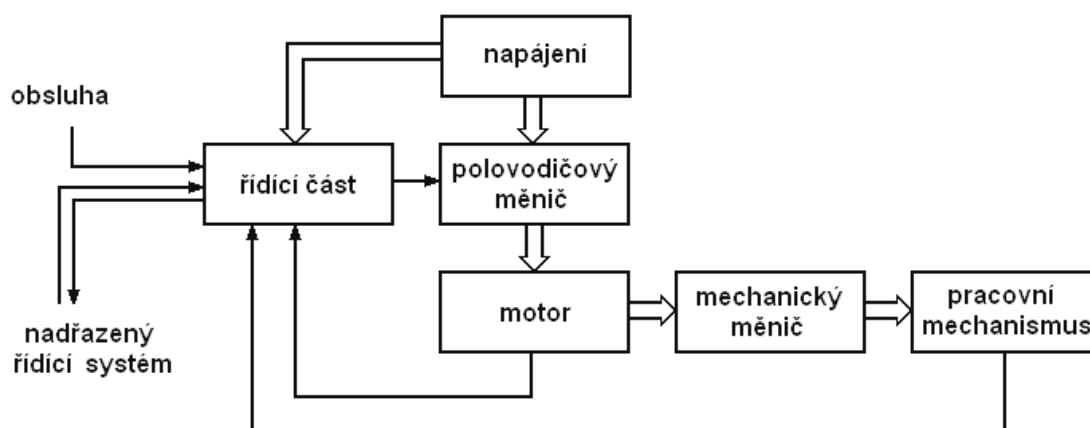
Prvním bodem diplomové práce bude shrnutí teoretických poznatků z oblasti elektrických pohonů a jejich řízení. Vysvětlena bude regulace rychlosti a polohy, které jsou pro tuto práci stěžejní. Podrobněji by měly být rozebrány principy frekvenčního řízení měničů kmitočtu, a to skalárního a vektorového.

Dále bude potřeba seznámit se s dostupnou technikou převážně od firmy Siemens, kterou katedra elektrotechniky disponuje. Na základě získaných znalostí pak navrhnout a sestavit vhodné pracoviště pro realizaci a testování zmiňovaného pohonu. Zvláštní pozornost bude věnována samotnému měniči Siemens Micromaster MM440 a jeho parametrizování. Je potřeba seznámit se se všemi možnostmi parametrizování, pochopit BICO technologii a ovládání programu DriveMonitor.

Výsledkem by měl být ucelený popis sestavení servopohonu s asynchronním elektromotorem a zmiňovaným měničem od mechanického zapojení po nastavení parametrů měniče. Pohon bude testován při různých provozních podmínkách, režimech řízení a nastavení parametrů rychlostního či proudového regulátoru. Na základě těchto testů bude nalezeno optimální nastavení parametrů měniče a odhaleny nedostatky či některá provozní omezení. Měl by být také definován vztah pro nastavení měniče tak, aby servopohon vyhovoval dané aplikaci. Na základě tohoto uceleného popisu pak bude možné kdykoliv servopohon realizovat a připravit pro konkrétní použití.

1. Elektrický pohon

Hlavním úkolem elektrického pohonu je přeměna elektrické energie na mechanickou energii. Tato přeměna je prováděna prostřednictvím skupiny subsystémů pohonu. Tvoří ji elektrický stroj (synchronní nebo asynchronní motor), polovodičový a mechanický měnič energie. Polovodičový měnič je napájen střídavým jednofázovým nebo trojfázovým napětím a skládá se z usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu a střídače, obvykle tvořeného IGBT tranzistory. Průběh této přeměny energie je ovlivněn elektrickými vlastnostmi napájecí části pohonu a řídicí částí, bývá to mikroprocesor, který může dále reagovat na požadavky obsluhy nebo jiného nadřazeného systému. Příklad uspořádání elektrického pohonu s jedním motorem je na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Uspořádání elektrického pohonu

Střídavé (AC) motory dnes již v řadě aplikací vystřídaly dřívější stejnosměrné (DC) a to zejména pro své kompaktní rozměry a díky novým možnostem jejich řízení, které s rozvojem výkonové elektroniky v posledních letech výrazně narostly. Nejběžnější a pro své parametry nejoblíbenější variantou pohonu je v dnešní době frekvenčně řízený pohon s asynchronním motorem.

1.1. Řízení pohonu

Nejčastějším typem řízení elektrických pohonů je regulace. Regulací se udržují, s potřebnou přesností a dynamikou, fyzikální veličiny na stanovených hodnotách pomocí zpětné vazby. Zpětná vazba přináší informace o okamžitých hodnotách regulovaných veličin, které jsou v průběhu regulace neustále vyhodnocovány. Obecné regulační schéma je na obr. 1.2. Nejčastější regulovanou veličinou v elektrickém pohonu je jeho otáčivá rychlost a s ní související moment. Na obr. 1.1 vidíme, že hlavní

řídící jednotkou pohonu je frekvenční polovodičový měnič, který zajišťuje komplexní regulaci nejen frekvence, ale i dalších veličin. Regulace jedné veličiny v sobě obvykle skrývá regulaci dalších podřízených veličin. Jejich regulátory jsou potom v pohonech kaskádně řazeny. Například regulace polohy, kterou se v této práci budeme zabývat, v sobě spojuje podřízené regulátory rychlosti a momentu.

1.1.1. Regulace rychlosti AM

Řídit otáčky AM lze více způsoby např. změnou počtu pólových dvojic, změnou napětí statoru, asynchronními kaskádami využívajícími skluzového výkonu asynchronního kroužkového motoru nebo změnou frekvence [1]. Pro otáčivou rychlost AM platí, a vyplývají z něj výše zmiňované možnosti řízení, vztah

$$\omega_m = \omega_s (1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p_p} (1 - s) \quad (1.1)$$

Popisovat všechny zde uvedené možnosti řízení rychlosti AM by se odkloňovalo od tématu diplomové práce, a proto se dále budeme věnovat jen možnostem řízení změnou frekvence, kterému je vyhrazena celá druhá kapitola.

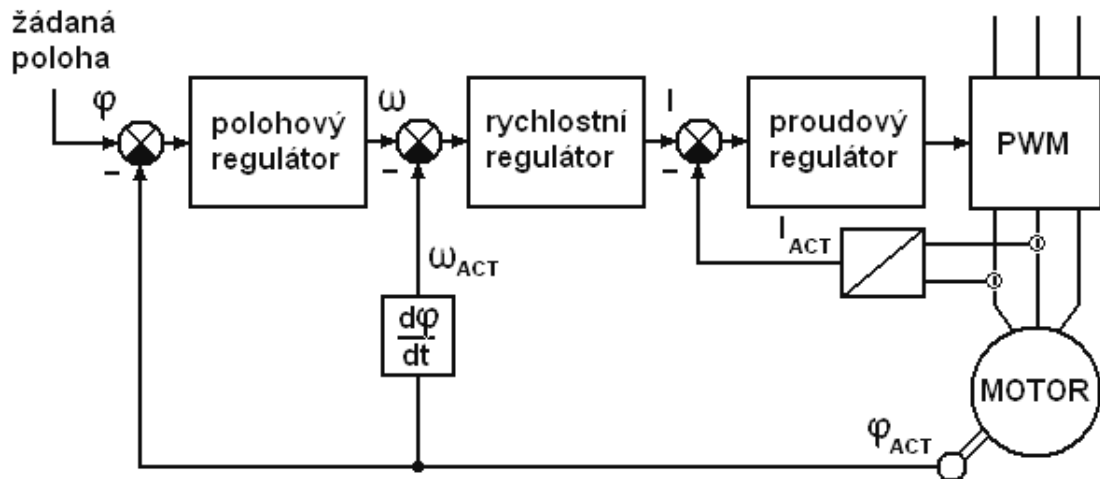
1.2. Servopohon

Podstatou servopohonu je v podstatě regulace polohy. Regulací polohy u točivých strojů se rozumí regulace úhlu natočení hřídele stroje. Požadavek na regulaci může být dvojího typu, a to buď požadavek na dosažení určité cílové polohy natočení, a nebo požadavek sledování určité dráhy. Rozlišuje se tzv. regulace sledovací, kde pohon sleduje časový průběh řídicí veličiny a regulace cílová, kde řídicí veličina udává cílovou polohu, které má pohon dosáhnout. Autor v [4] navíc rozlišuje cílovou regulaci s pevným a pohyblivým cílem a sledovací regulaci s pevným a pohyblivým počátkem odměřování. Předmětem této diplomové práce je realizace cílové regulace polohy s pevným cílem.

1.2.1. Regulace polohy

Účelem takové regulace je rozběh motoru na konstantní rychlost otáčení a následné brzdění tak, aby bylo dosaženo požadovaného úhlu natočení hřídele. Požadavek navíc bývá rozšířen o rychlost dosažení cílové polohy nebo spotřebu energie. S úhlem natočení souvisí úhlová rychlost dle vztahu (1.2) a ta dále ovlivňuje proud, jak je patrné z obr. 1.2. Žádaná poloha je porovnávána se skutečnou polohou,

jejíž hodnota je získána z čidla otáček. Následný požadavek na úhlovou frekvenci je porovnáván se skutečnými otáčkami, které jsou určeny derivací signálu ze stejného čidla. Výstupem z rychlostního regulátoru je požadavek proudu a s ním související moment.



Obr. 1.2 Obecné schéma servopohonu

Časovou závislost úhlu natočení hřídele motoru na jeho úhlové rychlosti vyjadřuje známý integrální vztah

$$\varphi = \int \omega dt \quad (1.2)$$

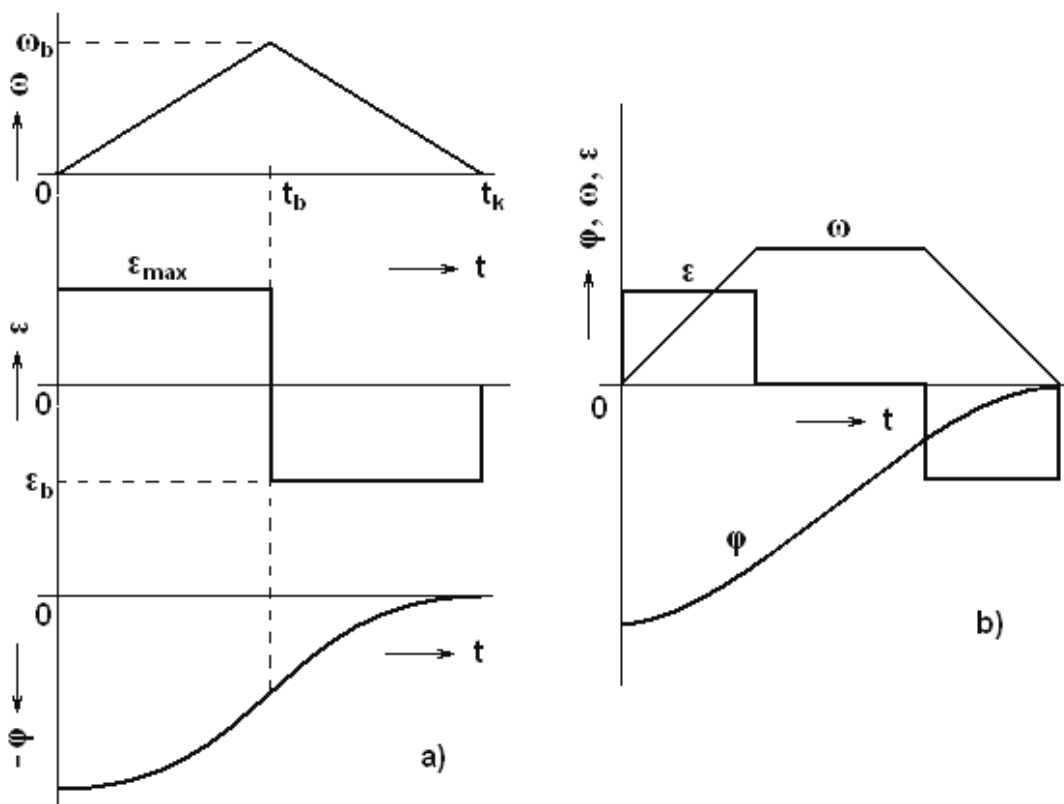
Při časově optimální regulaci je potřeba pohon rozbíhat s maximálním zrychlením a s tímto i brzdít. Pohon musí vyvinout maximální dynamický moment.

$$\varepsilon_{\max} = \frac{M_{d\max}}{J} \quad (1.3)$$

Polohová regulační odchylka $\Delta\varphi$ při maximálním zrychlení je

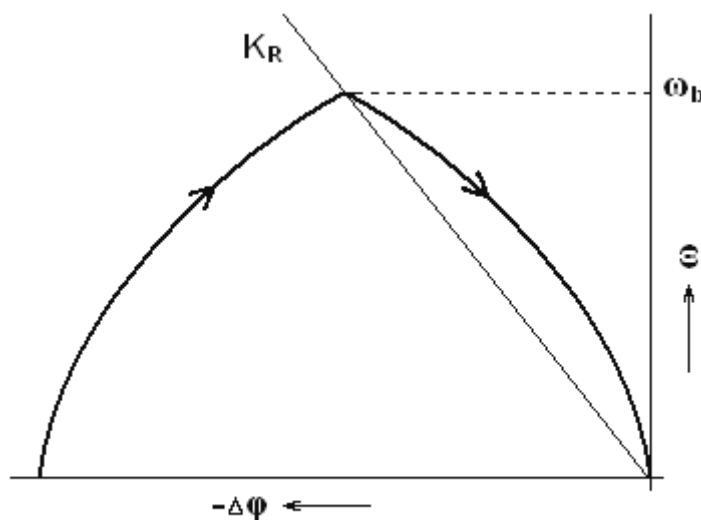
$$\Delta\varphi = \varphi_z - \varphi_s = \frac{1}{2} \varepsilon_{\max} t^2 = \frac{1}{2} \frac{\omega_z^2}{\varepsilon_{\max}} \quad (1.4)$$

Pokud je cílová hodnota polohy natolik vzdálená, že generátor žádané hodnoty otáček generuje signál $\omega_z > \omega_{\max}$, bude pohon díky omezovači maximálních otáček setrvávat na konstantní úhlové rychlosti. Na obr. 1.3a jsou časové průběhy φ , ω , ε , na obr. 1.3b potom průběhy ovlivněné dosažením maximálních otáček. Cílová (žádaná) poloha je uvažována jako nulová a počáteční poloha jako záporná.



Obr. 1.3 a) Časové průběhy kinematických veličin při polohové regulaci pro časově optimální regulaci $\epsilon = \epsilon_{\max}$, b) časově optimální regulace s omezením rychlosti

Na kinematické veličiny lze nahlížet nejen z hlediska časového, ale můžeme zakreslit například fázovou trajektorii $\omega(\Delta\varphi)$. Z ní je například vidět, že při časově optimální regulaci nemůže být použit proporcionální regulátor s konstantním zesílením, ten vede totiž k lineární závislosti $\omega(\Delta\varphi)$. V obrázku 1.4 je doplněno zesílení regulátoru K_R , jak se musí měnit jeho hodnota, aby trajektorie odpovídaly optimální regulaci podle obrázku 1.3.



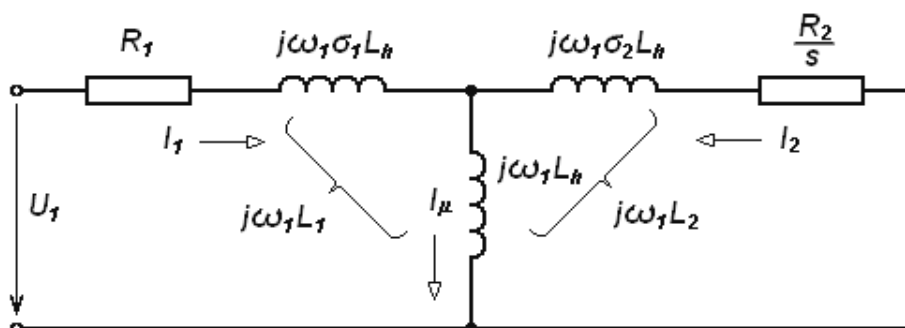
Obr. 1.4 Fázová trajektorie

2. Způsoby řízení měničů kmitočtu

Všechny možnosti, jak řídit otáčky asynchronního motoru, vycházejí z dříve zmiňovaného vztahu (1.1). Vychází z něj i vztah pro řízení synchronní rychlosti AM

$$\omega_s = \frac{2\pi}{p_p} f_1$$

Pro další analýzu budeme vycházet z náhradního schématu asynchronního elektromotoru s kotvou nakrátko. Z náhradního schématu (Obr. 2.1) lze určit celkovou impedanci obvodu, proud fáze statoru a rotoru a postupně vyjádřit [1] vztah (2.1) pro maximální moment



Obr. 2.1 Náhradní schéma fáze asynchronního motoru

$$M_m = \frac{3}{4} \frac{(1-\sigma)p_p}{\sigma L_1} \frac{U_1^2}{\omega_1^2} \quad (2.1)$$

Rovnice platí při zanedbání odporu fáze statoru R_1 a pro lineární část mechanické charakteristiky ($s \ll s_m$) platí vztah

$$M = \frac{2M_m}{s_m} s \quad (2.2)$$

kde

$$s_m = \pm \frac{R_2}{\omega_1 \sigma L_2} \quad (2.3)$$

je skluz zvratu, jehož dosazením do (2.2) společně s (2.1) dostáváme

$$M = K \frac{U_1^2}{\omega_1 R_2} \left(1 - \frac{p_p \omega_m}{\omega_1} \right) \quad (2.4)$$

Odvozením z matematického modelu AM [1] a při zanedbání odporu fáze statoru, je

$$U_1 = j\omega_1 \Psi_1, \quad \Psi = |\Psi| \cdot e^{j\omega t} \quad (2.5)$$

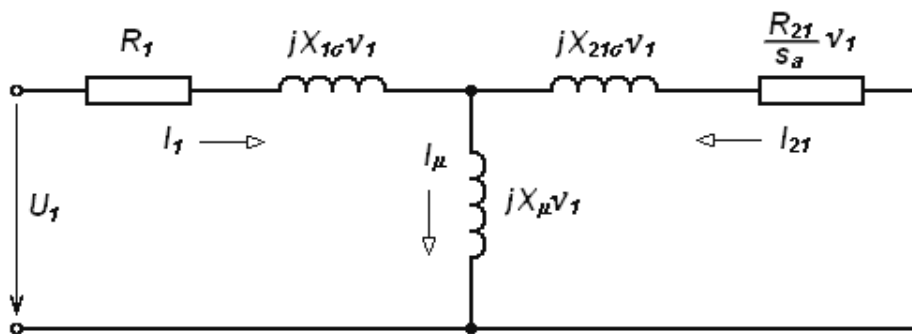
a za pomoci tohoto vztahu se z rovnice (2.4) vyjádří mechanická úhlová rychlost

$$\omega_m = \frac{U_1}{\Psi_1 p_p} - \frac{R_2}{K p_p \Psi_1^2} M \quad (2.6)$$

Z rovnice (2.5) je zřejmé, že pro udržení stálého spřaženého toku Ψ_1 motoru je potřeba zajistit konstantní poměr U_1/ω_1 . Tento poměr zajistí současně stálost maximálního momentu M_m což plyne z (2.1). Když ovšem dosáhne frekvence takové hodnoty, že napětí U_1 nebude moci dále úměrně narůstat, neumožní-li to například zdroj, bude záviset spřažený magnetický tok na frekvenci hyperbolicky, maximální moment M_m bude úměrný $1/\omega_1^2$ a dojde k odbuzování motoru (Obr. 2.3). Dalším problémem je oblast nízkých kmitočtů, kde již nelze počítat se vztahem (2.5) bez odporového úbytku. V tomto případě se vychází z náhradního schématu (Obr. 2.2), ve kterém je zavedena poměrná frekvence $v_1 = f_1/f_{1N}$ a absolutní skluz

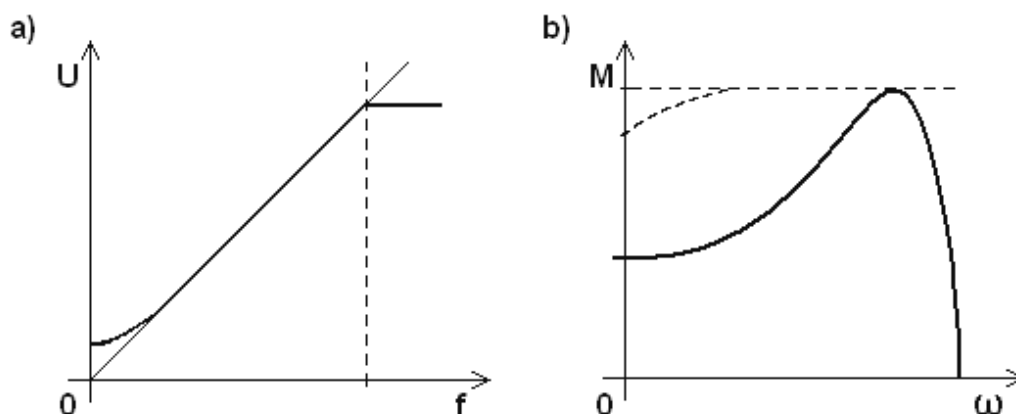
$$s_a = \frac{\omega_1 - \omega_m}{\omega_{1N}} \quad (2.7)$$

kde ω_1 je synchronní rychlost při dané frekvenci, ω_m mechanické rychlost rotoru při napájecí frekvenci f_1 a ω_{1N} synchronní úhlová rychlost při jmenovité frekvenci $f_1 = f_{1N}$. Skluz při jiné frekvenci $f_1 \neq f_{1N}$ je možno vyjádřit $s = s_a/v_1$.



Obr. 2.2 Náhradní schéma frekvenčně řízeného asynchronního motoru

Zavedením těchto veličin pak vzniknou nové rovnice pro napětí a moment [1], které nás dovedou ke vztahu pro poměr napětí $U_1/U_{1N} = f(v_1)$. Z něho zjišťujeme, že úbytek na statorovém odporu R_1 se musí kompenzovat pomalejším poklesem napětí, než odpovídá poklesu kmitočtu (Obr 2.3 a).



Obr. 2.3 a) Kompenzace vlivu odporu statoru, b) Momentová charakteristika AM při kmitočtovém řízení

Jak bylo vysvětleno, ke kmitočtové regulaci rychlosti asynchronních strojů je nutná možnost měnit napájecí kmitočet a napětí nezávisle na sobě. S rozvojem výkonové elektroniky a regulační techniky se vytvořily polovodičové měniče, které plní požadavek zdroje proměnného kmitočtu s možností současné změny výstupního napětí. Způsobů, jak tyto měniče řídit, je poměrně hodně, od jednodušších skalárních řízení až po řízení dynamicky náročných pohonů metodou vektorového nebo přímého řízení.

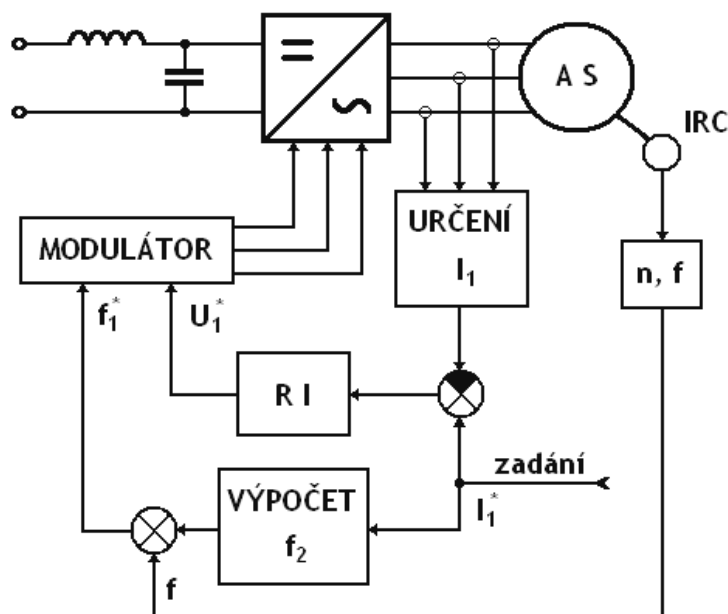
2.1. Skalární řízení

Poměrně jednoduchý způsob řízení měničů kmitočtu je takzvané skalární řízení, kde jsou statorový proud a další proměnné veličiny považovány za skalární hodnoty. Tam, kde není kladen příliš velký důraz na dynamiku, je tento způsob řízení hojně využíván, přestože je díky novým metodám řízení spíše spojován se starší generací pohonů. Nejčastější využití má v jednodušších aplikacích, například u ventilátorů nebo čerpadel. Podstatou řízení je, v úvodu kapitoly zmiňované, udržování konstantního sycení magnetického obvodu ve stroji, se kterým je svázána potřeba zajistit stálý poměr U_1 / f_1 . Regulační algoritmus vypočítává požadované hodnoty U_1 a f_1 , ze kterých modulátor generuje signál pro střídač.

2.1.1. Kmitočtové proudové řízení

Ze statorového proudu je odvozen požadovaný rotorový kmitočet. Regulator potom počítá požadovaný výstupní kmitočet střídače f_1^* jako součet kmitočtu f , který je změřen přímo snímačem otáček stroje, a požadovaného rotorového kmitočtu f_2 ,

odvozeného pomocí nelineárního členu. Žádané výstupní napětí střídače je v podobě tzv. modulační konstanty vypočítáno v regulátoru proudu RI.

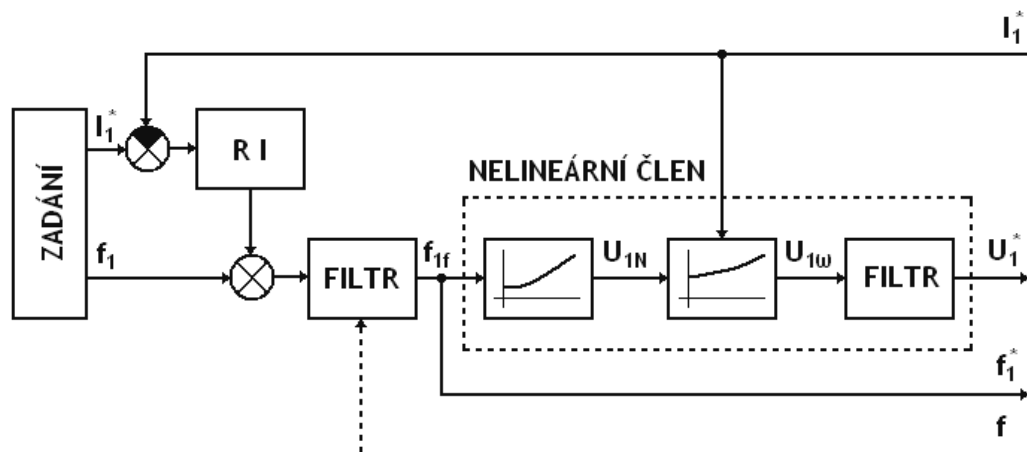


Obr. 2.4 Kmitočtově proudové řízení

2.1.2. Kmitočtově napěťové řízení

V tomto případě je opět udržován určitý poměr mezi f_1 a U_1 , který je dále korigován s ohledem na zatížení vyplývající například z velikosti statorového proudu I_1 . Algoritmus optimalizace v ustálených stavech je složitější, není zde však zapotřebí přesné měření otáček, jako v předchozím případě, kde k vytvoření statorového kmitočtu bylo nutné provádět součet měřené otáčivé rychlosti a zadaného rotorového kmitočtu. To ovšem může nepříznivě ovlivnit dynamiku pohonu.

V nelineárním členu se vytváří požadované napětí U_1^* jako funkce kmitočtu, dále upravená velikostí statorového proudu. Pokud by rozdíl zadaného a měřeného kmitočtu hrozil překročením rotorového kmitočtu, budou tyto změny blokovány signálem f z tachogenerátoru.



Obr. 2.5 Kmitočtově napěťové řízení

2.2. Vektorové řízení

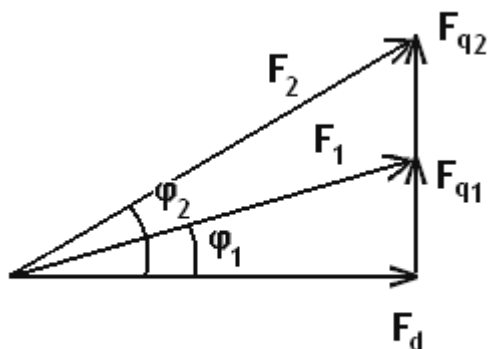
Při skalárním řízení se vychází ze vztahů pro ustálené stavy, to však dobře vyhovuje pouze pohonům s konstantním, nebo velmi málo se měnícím zatížením a otáčkami. Metodou pro řízení dynamicky náročných pohonů je vektorové řízení. Statorový proud je uvažován jako vektor, který je rozdělen na dvě složky, a to tokotvornou a momentovornou.

2.2.1. Princip vektorového řízení

U stejnosměrného motoru s cizím buzením vytváří magnetomotorické napětí budícího vinutí magnetický tok stroje. Toto napětí je jeho tokotvornou složkou. Magnetomotorické napětí vinutí kotvy je úměrné točivému momentu stroje a tvoří momentotvornou složku. Vinutí jsou oddělena a samostatně napájena, díky tomu lze složky samostatně řídit. Magnetický tok a moment nejsou veličiny, které by byly snadno měřitelné, a proto se dopočítávají z jiných veličin podle poměrně složitěho matematického modelu stroje popsaného [1], [2]. V tomto případě se jedná o měření kotevního a budícího proudu, které k určení momentu a toku stačí. V případě střídavých strojů se však jedná o řešení soustavy diferenciálních rovnic, kterou je třeba řešit s velikou rychlostí.

Podstatou vektorového řízení je rozložení vektoru statorového proudu \mathbf{I} do os souřadného systému rotujícího shodně s rotorem [3], čímž se získá jeho tokotvorná I_d a momentotvorná složka I_q . Směr a velikost magnetického toku souvisejícího s tokotvornou složkou statorového proudu je udržován na konstantní hodnotě a mění se

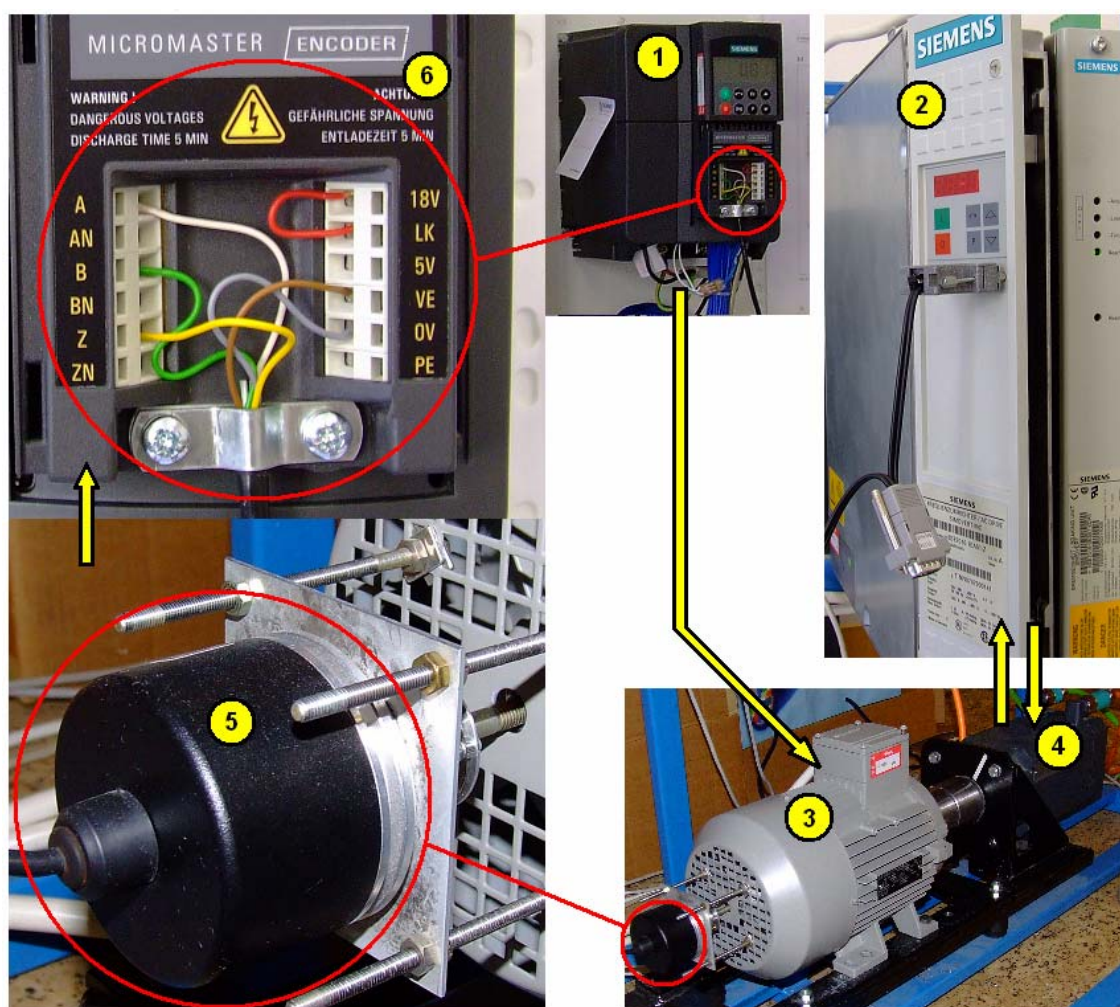
momentotvorná složka statorového proudu. Na obrázku 2.6 je v osách d, q znázorněno magnetomotorické napětí F , které má stejný směr jako fázor statorového proudu. Tokotvorná složka F_d je konstantní a s momentem se mění složka F_{q1} do stavu F_{q2} . To vede ke změně velikosti statorového proudu v poměru délek F_1 ku F_2 , změně fázového úhlu φ statorového proudu a rotorové úhlové rychlosti, která úměrně souvisí úbytkem napětí rotorového vinutí.



Obr. 2.6 Vektorový diagram

3. Uspořádání pracovní stanice

Pracovní stanice byla tvořena dvěma pohony. Pohonem s asynchronním motorem (AM) a měničem Siemens Micromaster MM440 (dále jen MM440), který byl sestavený dle zadání diplomové práce a byl předmětem zkoumání a měření. MM440 byl navíc rozšířen o modul encoder zpracovávající informace o poloze rotoru AM, ke kterému byl z tohoto důvodu připevněn inkrementální snímač otáček. Servopohon se synchronním servomotorem (SM) a frekvenčním měničem Siemens Masterdrives Motion Control (dále MDMC) zde sloužil jednak jako fyzická zátěž prvního pohonu a dále byl využíván ke snímání jeho okamžitých kinematických veličin (ϕ , ω , ϵ).



Obr. 3.1 Uspořádání pohonů

1- MM440, 2- MDMC, 3- AM, 4- SM, 5- snímač otáček, 6- modul snímače otáček

Na obrázku 3.1 je vidět uspořádání pohonů, motory jsou šroubovým spojem uchyceny ve společném rámu hřídelemi proti sobě tak, aby bylo možno hřídele pevně spojit. Při měření je potřeba toto postavení motorů respektovat, protože smysl otáčení

hřídělí je vzájemně opačný a například informace o otáčkách AM získaná z MDMC má z tohoto důvodu opačné znaménko.

Oba měniče jsou připevněny na pracovním panelu, na kterém jsou zároveň vyvedeny jejich řídicí svorkovnice pro snadnější obsluhu. Náhled na celou stanici je na obrázku 3.2.

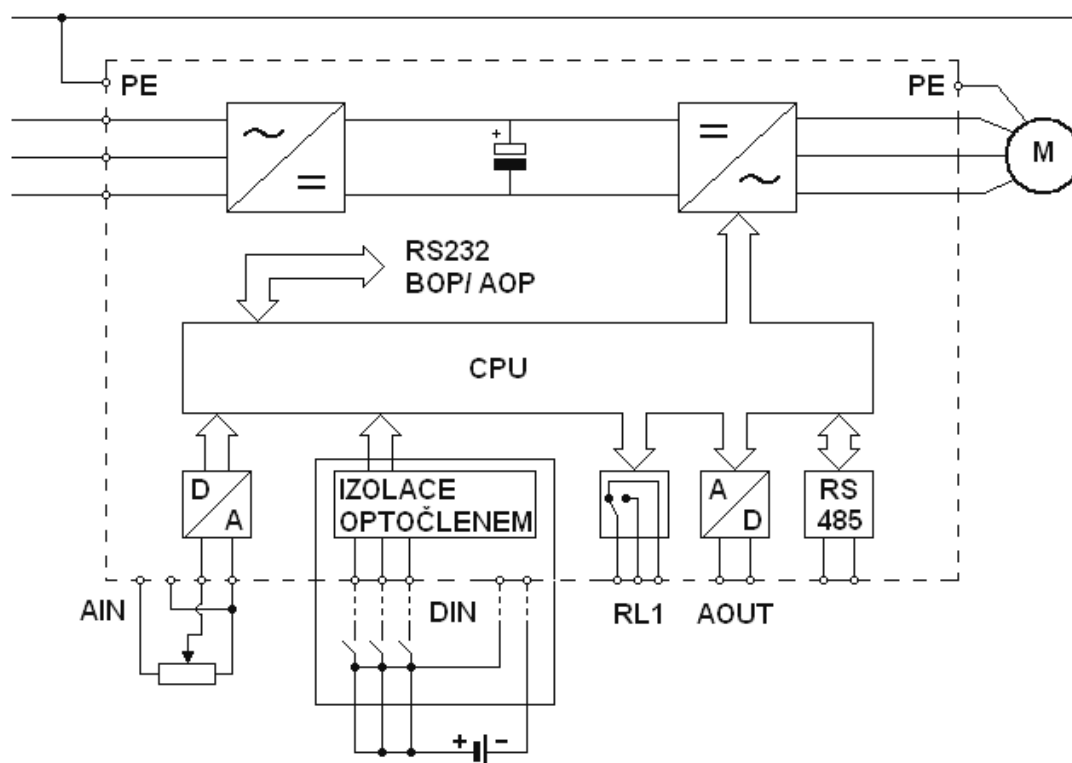


Obr. 3.2 Pohled na pracoviště

3.1. Frekvenční měnič Micromaster MM440

Řada měničů Micromaster od firmy Siemens nabízí modely 410, 420, 430 a 440. MM440 má z této řady nejširší spektrum použití. Je navržen pro širokou škálu pohonů s měnitelnou rychlostí. Je použitelný v mnoha aplikacích, kupříkladu jeřáby a zvedací zařízení, výrobní linky v potravinářském průmyslu nebo balicí zařízení. Jeho předností je modulární (stavebnicová) koncepce zajišťující maximální konfigurační pružnost. Modulární koncepce umožňuje k měniči připojovat další moduly a tím rozšířit jeho možnosti využití. MM440 se vyznačuje snadnou výměnou těchto komunikačních modulů a ovládacích panelů.

Ovládání měniče zajišťuje šest programovatelných izolovaných digitálních vstupů, dva normované analogové vstupy (0 až 10V, 0 až 20mA), které je možno využít i jako sedmý a osmý digitální vstup, a tři programovatelné reléové výstupy (30V DC/ 5A ohmické zatížení, 250V AC/ 2A indukční zatížení). Další možnosti ovládání a nastavování parametrů měniče pomocí instrukcí jsou vysvětleny podrobněji v kap. 4.



Obr. 3.3 Blokové schéma měniče MM440

MM440 nabízí kvalitní regulační systém pomocí vektorového řízení, regulaci proudu (FCC) ke zlepšení dynamické odezvy a optimalizaci řízení motoru, momentové

řízení, skalární řízení s lineární, kvadratickou a vícebodovou (programovatelnou) charakteristikou U/f. Jeho šítkové hodnoty uvádí tabulka 3.1, další parametry pak katalog [6]. Úplné blokové schéma viz příloha [A].

Typové označení měniče: 6SE6440-2AB21-1BA1	
Pracovní napětí napájecí sítě	1 AC 200 až 240V $\pm 10\%$
Vstupní kmitočet	47 až 63Hz
Výstupní kmitočet (režim U/f)	0 až 650Hz
Výstupní kmitočet (vektorový režim)	0 až 200Hz
Účinník $\cos\varphi$	$\geq 0,95$
Výstupní výkon	1,1kW
Jmenovitá hodnota vstupního proudu	11,0A
Jmenovitá hodnota výstupního proudu	5,5A
Verze software	A14/2.08

Tab. 3.1 Šítkové hodnoty měniče MM440

3.2. Frekvenční měnič Siemens Masterdrives Motion Control

Masterdrives Motion Control je frekvenční měnič od firmy Siemens určený pro průmyslové servoaplikace. Provedení MDMC je založeno na osvědčené modulární hardwarové koncepci spolu s modulárním softwarovým vybavením v podobě volně propojitelných funkčních bloků a integrovaných technologických funkcí. Měnič je určen k napájení trojfázových motorů v rozsahu napětí 380-480V AC, 50/60Hz a v našem provedení poskytuje výkon 2,2kW. Jeho koncepce svou vysokou dynamickou odezvou a kvalitním polohováním vyhovuje přísným požadavkům na servotechnologie. Ve spojení se servomotorem, jak je tomu v našem případě, a s vektorovým řízením, které měnič umožňuje, spolu tvoří kvalitní pohon plně vyhovující našim potřebám měření.

Měnič je možné ovládat pomocí standardního ovládacího panelu PMU, komfortního ovládacího panelu OPS1, řídicích svorkovnic, sériového rozhraní nebo komunikační jednotkou po sběrnici. Více informací uvádí katalog [7]. Šítkové hodnoty shrnuje tabulka 3.2.

Typové označení měniče: 6SE7016-1EA51-Z			
Napájecí napětí	3AC 380 - 480V	Výstupní napětí	3AC 0..380 - 480V
Napětí DC obvodu	510 - 650V DC	Výstupní kmitočet	0 - 400Hz
Vstupní kmitočet	50/60Hz	Výstupní proud	6,1A
Vstupní proud	6,1A	Krátkodobý proud	136% po dobu 60s
Jmenovitý výkon	2,2kW	Účinník $\cos\varphi$	≥ 98

Tab. 3.2 Šítkové hodnoty měniče MDMC

3.3. Asynchronní motor

Na základě zadání diplomové práce a možností katedry KEL byl vybrán trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko s označením 1LA7 od firmy Siemens. Tento typ motoru je určen k pohonu průmyslových zařízení, např. ventilátorů, čerpadel, obráběcích strojů, lisů apod. Jde o základní provedení v hliníkové kostře se svorkovnicí nahoře. Trojfázové vinutí je možno zapojit do trojúhelníku nebo hvězdy. Motor je dvoupólový, synchronní otáčky se mění úměrně se síťovým kmitočtem, je vhodný pro směr otáčení vpravo i vlevo. Změna směru otáčení se provede záměnou dvou fází. Štítkové hodnoty motoru jsou uvedeny v tabulce 3.3, další údaje jsou k dohledání v katalogu [8].

Typové označení motoru: 1LA7090-2AA10			
Hodnoty pro 50Hz a 230/400V Δ/Y		Hodnoty pro 60Hz a 460V Y	
Jmenovitý proud	5,65/3,25A	Jmenovitý proud	3,2A
Jmenovitý výkon	1,5kW	Jmenovitý výkon	1,75kW
Jmenovité otáčky	2860 /min	Jmenovité otáčky	3460 /min
Účinník cosφ	0,85	Účinník cosφ	0,86
Rozsah jmenovitého napětí a proudu 220 - 240/380 - 420V Δ/Y 5,9 - 5,8/3,4 - 3,35A		Rozsah jmenovitého napětí a proudu 440 - 480V Y 3,35 - 3,25A	
Konstrukční provedení	IMB3	Stupeň ochrany	IP55

Tab. 3.3 Štítkové hodnoty asynchronního motoru

Jmenovitý krouticí moment na hřídeli se vypočte ze vztahu (3.1). P je jmenovitý výkon a n jsou jmenovité otáčky.

$$M = 9,55 \cdot P \cdot \frac{1000}{n} \quad (3.1)$$

3.4. Synchronní servomotor

Motor druhého servopohonu je synchronní AC servomotor s označením 1FT6 od firmy Siemens. Je to kompaktní motor s permanentními magnety v rotoru a integrovaným encoderem s možností řízení měničem MDMC. Integrovaný absolutní víceotáčkový snímač polohy má základní rozlišení 4096 pulsů na otáčku a poskytuje tím dostatečnou přesnost pro naše měření. Motor je s měničem propojen přes silový a signálový konektor. Velký dynamický výkon, vysoká rotační přesnost a další jeho parametry jsou dány jeho určením pro výkonné obráběcí stroje a výrobní stroje s velkými požadavky na dynamiku a přesnost regulace polohy. Štítkové hodnoty motoru

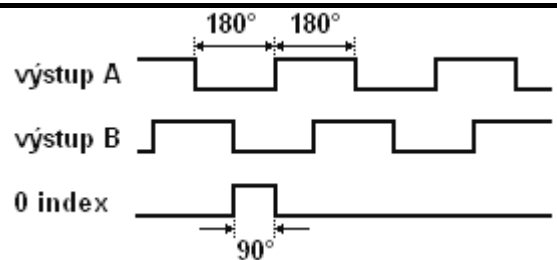
jsou uvedeny v tabulce 3.4. Další parametry motoru a jejich vysvětlení jsou uvedeny v katalogu [9].

Typové označení servomotoru: 1FT6062-6AF71-3EA0			
Při $\Delta T = 60/100K$		Jmenovitý moment M_n	4,5Nm
		Jmenovité otáčky n_N	3000 /min
Klidový moment M_0	5,0/6,0Nm	Vstupní napětí U_{IN}	270V Y
Ustálený proud I_0	3,4/4,0A	Maximální otáčky n_{max}	4800 /min
Konstrukční provedení	IMB5	Stupeň ochrany	IP64
Typ encoderu	ABSOLUTE-ENCODER F02 2048 S/R		

Tab. 3.4 Štítkové hodnoty servomotoru

3.5. Snímač otáček asynchronního motoru

Ke snímání otáček byl použit rotační snímač efector400 od firmy ifm electronic. Jedná se o optický inkrementální snímač polohy s plnou hřídelí. Je tvořen tzv. impulsním diskem připevněným ke hřídeli, na jehož obvodě jsou optické značky, a společně s neopotřebitelným optoelektronickým snímačem transformuje rotační pohyb na sekvenci pulsů. To umožňuje měření lineárních úseků dráhy a úhlu natočení na základě detekce polohy. Základní rozlišovací schopnost snímače je 1024 impulsů na otáčku. Snímač poskytuje impulsy ve dvou stopách (výstupní el. signál je fázově posunut o 90°) a nulovou stopu (viz. tab. 3.5).

Typové označení snímače: RU6025 (RU-1024-I24/L2)	
Výstupní funkce	HTL výstup 50mA, ochrana proti zkratu
Provozní napětí	10 až 30V DC
Proudový odběr	< 150mA
Spínací frekvence	300kHz
Fázový posun A a B	90°
Stupeň ochrany	IP64
Impulsní diagram	 <p>Diagram ukazuje tři signály: výstup A, výstup B a 0 index. Výstup A a B jsou kvadratury (90° posun). 0 index je pulz s šířkou 90°.</p>

Tab. 3.5 Štítkové hodnoty snímače otáček

3.6. Modul Encoder

Modul impulsního čidla MICROMASTER od firmy Siemens je rozšiřujícím modulem pro měniče MICROMASTER řady 440 a umožňuje k měniči připojit všechna

běžná digitální impulsní čidla s napětovými úrovněmi signálů HTL nebo TTL. Omezením pro připojení impulsního čidla je maximální frekvence modulu ($f_{\max} = 300\text{kHz}$). Modul je napájen přímo z měniče přes 40pinový konektor. Rozšířením MM440 o tento modul získáme kvalitnější možnosti řízení, je možné například získat plný moment při nulových otáčkách, lepší udržení dynamiky při změnách momentu a otáček a získáme přesnou kontrolu otáček. Přesná informace o otáčkách motoru je nezbytným údajem pro sestavení polohové regulační smyčky. Modul pracuje pouze s měniči od verze firmware 2.0, to je v našem případě splněno viz štítkové hodnoty MM440 v tab. 3.1.

Typové označení encoderu: 6SE6400-0EN00-0AA0	
Napájení	5V \pm 5%, 330mA
Povolená teplota prostředí	-10 až +50°C
Stupeň ochrany	IP20
Plzní frekvence	max. 300kHz

Tab. 3.6 Štítkové hodnoty encoderu

4. Parametrizování měniče MM440

Jak již bylo řečeno, měnič je možno přizpůsobit konkrétní aplikaci. To se provádí prostřednictvím parametrů. Nastavením jejich hodnot je možné měnit konfiguraci měniče, dobu rozběhu, dobu doběhu motoru, omezení hodnoty kmitočtu a podobně. Každý parametr je jednoznačně určen písmenem P nebo r , které značí, zda je parametr určen ke čtení nebo zápisu, a čtyřmístným číslem. Písmenem P jsou značeny parametry určené k zápisu i čtení hodnot. Písmenem r jsou značeny parametry určené pouze ke čtení hodnot, obvykle jsou to výstupy funkčních bloků. Některé parametry mají navíc za svým číslem uveden v hranatých závorkách počet indexů. Nejčastějším případem jsou tři indexy značící takzvanou sadu dat. Do takových parametrů je pak možné zadat tři rozdílné hodnoty pod jednotlivé indexy a podle zvolené sady dat měnič pracuje pouze s jednou z nich. Tímto způsobem je například možné připravit měnič k provozu dvou různých motorů tak, že pouhým výběrem datové sady pomocí dvou bitů bude schopen pohánět jeden a výběrem další sady druhý z nich. Nastavování parametrů je omezeno jednak jejich rozsahem, který je interpretován jako minimální a maximální hodnota parametru, a dále možnostmi přístupu (viz kap. 4.3). Způsobů, jak parametrizovat a ovládat měnič, je několik.

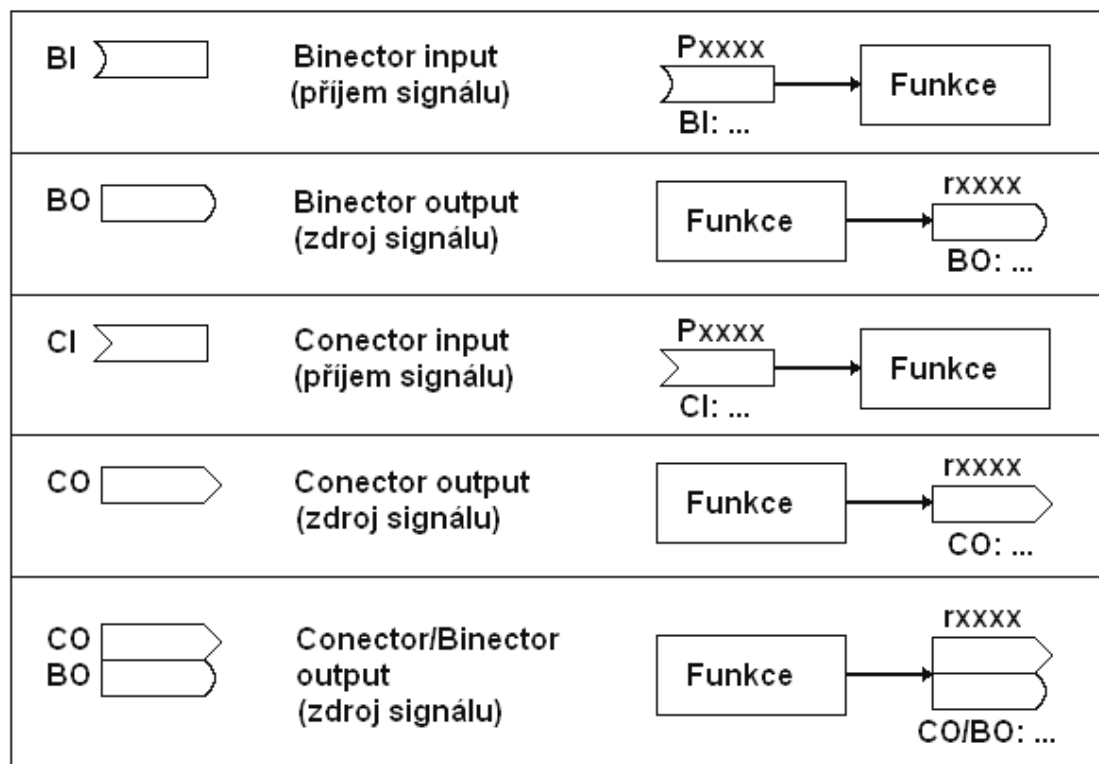
- ovládacím panelem BOP nebo jeho komfortnějším provedením AOP
- pomocí PC, po sběrnici RS232
- pomocí PC a průmyslové sběrnice (Profibus, CANbus, ...)
- pomocí PLC a průmyslové sběrnice

Měnič lze ovládat rovněž pomocí řídicích svorkovnic, jak bylo zmíněno v kap. 3 a je vidět na obr 3.3, to ale bez možnosti parametrizování. Nastavení ovládacím panelem se používá spíše v rámci inicializace měniče a nastavení komunikace mezi ním a PC. Hlavní nastavení parametrů pro požadavky aplikace se provádí pomocí PC a vhodného software (např. DriveMonitor).

4.1. BICO technologie

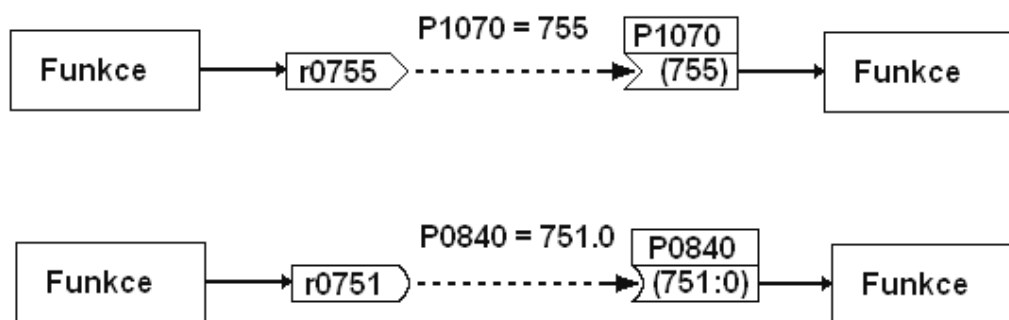
V měničích jsou řádově stovky parametrů, kterými se nastavují vlastnosti volných funkčních bloků, konstanty PID regulátorů či omezení rampových generátorů. Takto nastavené bloky funkcí je možné spolu spojovat přivedením výstupu jednoho na vstup druhého či zesilovat jejich výstupní hodnotu apod. To je zajištěno systémem

BICO parametrů (zkratka ze slov binector-conector), které plní funkci propojek mezi jednotlivými bloky. BICO parametry jsou označovány, podle typu spojení, ke kterému jsou určeny, za konektory nebo binektory a ty pak dále na vstupní a výstupní. Tímto způsobem je možné vytvářet poměrně snadno složité funkční celky. Technologie navíc opatřila každý typ parametru vlastní schematickou značkou, viz obr. 4.1, díky níž jsou rychle a přehledně vidět možnosti připojení každého bloku uváděného v manuálu a znázorněna schémata základních regulačních obvodů měniče.



Obr. 4.1 BICO parametry

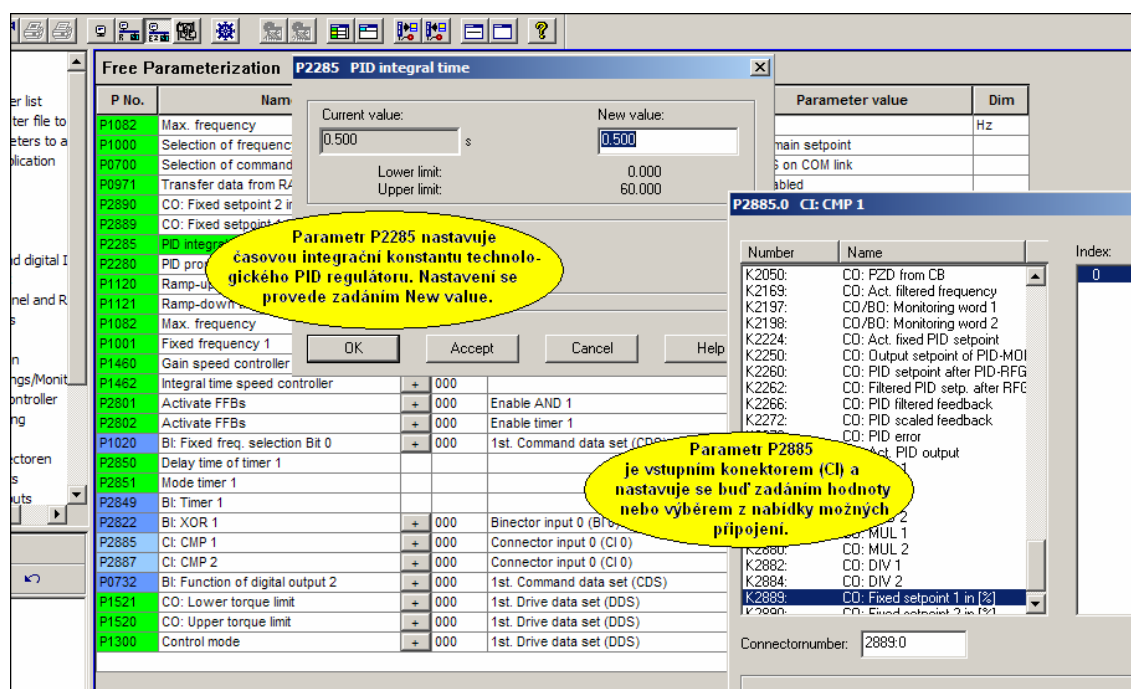
Propojovat je možné pouze binektory s binektory a konektory s konektory. Vazba mezi *CI* (conector input) a *CO* (conector output) se vytvoří tak, že se do parametru typu *CI* zadá hodnota čísla parametru *CO*, který má být k němu připojen. Tím se zavede signál vystupující z jednoho bloku přes parametr typu *CO* do druhého bloku parametrem *CI*. Stejným způsobem se vytváří i vazba mezi binektory. Propojování funkčních bloků pomocí konektorů a binektorů znázorňuje obrázek 4.2.



Obr. 4.2 Propojování funkčních bloků BICO technologií

4.2. Parametrizování pomocí software DriveMonitor

Základní možnost parametrizování v Drivemonitoru je zapsání hodnoty do parametru vybraného z kompletního parametr listu. Takovéto vyhledání parametru mezi tisícem dalších může být značně komplikované. Proto software Drivemonitor umožňuje uživateli přistupovat k parametrům z hlediska skupin, které shromažďují parametry týkající se jen určité oblasti nastavení (např. parametry pro nastavení PID regulátoru). Vybrat skupinu je možné v menu *parameter*. Další možností je takzvaná volná parametrizace, kdy si uživatel sám vytvoří okno s parametry, které bude sledovat a nastavovat. Tato možnost byla při realizaci diplomové práce nejvíce využívána.



Obr. 4.3 Výřez okna DriveMonitoru

Parametr je v celkovém nebo redukovaném seznamu (listu) reprezentován svým číslem, jménem, indexem, hodnotou a rozměrem. Nastavení se pak provede jednoduše poklikáním v kolonce hodnoty parametru, po kterém se objeví okno pro zadávání nové hodnoty. Jedná-li se o parametr typu vstupní konektor nebo binektor, je v takovémto okně navíc k dispozici rolovací seznam všech BICO parametrů, které je možné připojit, viz obr. 4.3. Pokud by práce s parametrem byla zakázána například omezením úrovně přístupu viz kap. 4.3, může k němu uživatel přistupovat stejně jako k ostatním, ale měnit jeho hodnotu nebude možné. Při nahrávání parametrů do měniče je automaticky nastaven parametr $P0010 = 39$ signalizující tuto skutečnost.

4.2.1. Omezení přístupu k parametrům

Pro rychlejší nastavování měniče pomocí ovládacího panelu nebo pro zamezení neodborného zásahu do jeho nastavení, je možné omezit přístup k jeho parametrům. Omezení je možné provést z hlediska úrovně oprávnění k přístupu (access level). Přístupová práva jsou rozdělena do 4 úrovní nastavitelných parametrem $P0003$ na standardní, rozšířenou, expertní a servisní. Dalším způsobem, jak se zaměřit jen na určitou skupinu parametrů, je možnost omezit se na oblast parametrů stejného okruhu nastavení měniče. Měnič pak nabízí např. parametry pouze skupiny motor, snímač otáček, měnič apod. Dále je možné v parametru $P0013[20]$ nadefinovat uživatelskou sadu až sedmnácti parametrů, která bude zpřístupněna při $P0003 = 0$. Dalším omezením pro zadávání hodnot může být parametr $P0010$, který signalizuje provozní stav měniče. Měnič se buď nachází ve stavu nastavení měniče, nebo provozu pohonu. Může být ještě ve stavech nahrávání souboru parametrů nebo v procesu obnovení továrního nastavení. Při provozu pohonu ($P0010 = 0$) nelze například měnit nastavení parametrů motoru jako je např. jmenovité napětí a proud.

4.3. Volné funkční bloky

Volné funkční bloky jsou sadou jednoduchých aritmetických a logických funkcí, klopných obvodů a časovačů, které je možné vhodně spojovat pomocí binektorů a konektorů a vytvářet tak vlastní struktury nezávislé na standardních regulačních algoritmech měniče.

Jednotlivé bloky zpracovává měnič dle jejich priority a operační čas pro zpracování signálu v jednom bloku je 128ms. Toto je potřeba zohlednit při návrhu sestavovaného obvodu. Parametr určující konkrétní blok může nabývat hodnot 0, 1, 2,

3, přičemž hodnota 3 nastavuje nejvyšší prioritu a funkční blok se vykonává jako první, naopak 0 zajistí, že se blok nebude vykonávat vůbec. Bloky stejné priority jsou vykonávány v pořadí, které je pevně určeno a nelze ho měnit.

← Operace stejné priority jsou prováděny v tomto pořadí →

P2801[0]	AND1
P2801[1]	AND2
P2801[2]	AND3
P2801[3]	OR1
P2801[4]	OR2
P2801[5]	OR3
P2801[6]	XOR1
P2801[7]	XOR2
P2801[8]	XOR3
P2801[9]	NOT1
P2801[10]	NOT2
P2801[11]	NOT3
P2801[12]	D1
P2801[13]	D2
P2801[14]	RS1
P2801[15]	RS2
P2801[16]	RS3
P2802[0]	TIMER1
P2802[1]	TIMER2
P2802[2]	TIMER3
P2802[3]	TIMER4
P2802[4]	ADD1
P2802[5]	ADD2
P2802[6]	SUB1
P2802[7]	SUB2
P2802[8]	MUL1
P2802[9]	MUL2
P2802[10]	DIV1
P2802[11]	DIV2
P2802[12]	CMP1
P2802[13]	CMP2

Obr. 4.4 Parametry volných funkčních bloků

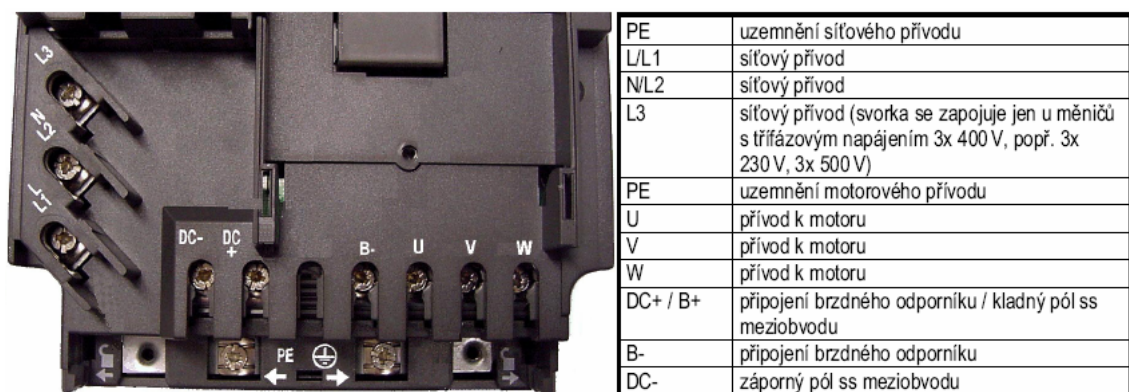
Všechny volné funkční bloky uváděné pod zkratkou FFB (Free function blocks) jsou seřazeny podle priority na obrázku 4.4., jejich detailní popis lze nalézt v manuálu [5] nebo v příloze [B], kde jsou vybrány pouze bloky používané v této práci. Těchto několik málo funkčních bloků, které MM440 nabízí, dává možnost vytvořit poměrně zajímavé struktury. Právě jejich využití společně s technologickým PID regulátorem, pro vytvoření polohové regulační struktury, se stalo předmětem této diplomové práce.

5. Vlastní sestavení servopohonu

Jak již bylo popsáno v kapitole 3, servopohon, který byl na základě zadání diplomové práce sestaven, je asynchronní elektromotor poháněný frekvenčním měničem Micromaster MM440 a otáčková zpětná vazba je vyvedena ze snímače otáček připevněného ke hřídeli motoru a vstupuje do měniče přes rozšiřující modul impulsního čidla. Muselo být tedy provedeno zapojení jednotlivých částí jednak fyzicky a jednak logicky (softwarově) - nastavením odpovídajících parametrů měniče.

5.1. Fyzické zapojení

Do měniče MM440 bylo přivedeno třížilovým kabelem na silové svorky L/L1, N/L2 a na zemnicí svorku PE jednofázové napájecí napětí 230V/50Hz. Pro provoz měniče na síti 50Hz musel být zkontrolován přepínač DIP č. 2, umístěný na řídicí desce, zda se nachází v poloze OFF. Stejným způsobem byl připojen čtyřžilovým kabelem motor ke svorkám měniče U, V, W a na zemnicí svorku PE pro uzemnění motoru. Ke svorkám DC+ a B- byl navíc připojen vnější brzdový odpor určený k maření energie pro případ, že by se motor dostal do generátorického stavu. Druhý konec čtyřžilového kabelu byl přiveden na svorkovnici motoru U1, V1, W1 a ochrannou zemnicí svorku. Motor byl zapojen do hvězdy vzájemným propojením svorek U2, V2 a W2. Ze strany ventilátoru byl k hřídeli motoru čtyřmi šrouby připevněn snímač otáček. Ke snímači bylo stíněným kabelem ze svorek modul impulsního čidla VE a 0V přivedeno napětí 18V DC pro HTL provedení snímače. To bylo zajištěno propojením svorek 18V a LK. Současně byly na svorky A, B a Z tohoto modulu přivedeny tři logické výstupy snímače (viz obr. 5.2). Stínění kabelu bylo obepnuto objímkou na modulu. Modul impulsního čidla byl zasunut přímo do konektoru modulu I/O měniče MM440. Přepínač DIP modulu byl nastaven pro typ čidla HTL s 5k Ω samostatně ukončeným vstupem kombinací přepínačů 1-6 (ON, OFF, ON, OFF, ON, OFF).



Obr. 5.1 Silová svorkovnice měniče MM440 [5]



Obr. 5.2 Svorkovnice Encoderu

5.2. Nastavení parametrů měniče

Aby byl zajištěn správný provoz asynchronního motoru, byly nastaveny následující parametry (tab. 5.1) měniče podle štítkových údajů motoru (tab. 3.3). Nastavení bylo provedeno prostřednictvím ovládacího panelu BOP a k zadání hodnot byl vybrán index parametrů číslo 1 pro první datovou sadu motoru.

Číslo parametru	Název parametru	Zadaná hodnota
P0300	Typ motoru (synchronní/asynchronní)	1
P0304	Jmenovité napájecí napětí motoru	400 [V]
P0305	Jmenovitý proud motoru	3,25 [A]
P0307	Jmenovitý výkon motoru	1,5 [kW]
P0308	Účinník motoru $\cos \varphi$	0,85
P0310	Jmenovitý kmitočet motoru	50 [Hz]
P0311	Jmenovité otáčky motoru	2860 [1/min]

Tab. 5.1 Nastavení parametrů podle štítku motoru

Při nastavení hodnoty jmenovitého napětí se musí vycházet ze zapojení svorkovnice motoru, proto byla zadána hodnota 400V pro zapojení motoru do hvězdy.

Údaj o jmenovitých otáčkách motoru je potřeba přesně zadat zejména pro vektorový způsob řízení, jinak by regulace nefungovala správně. Dále bylo potřeba oznámit měniči přítomnost impulsního dvoustopého čidla, to bylo provedeno nastavením *P0400* na hodnotu 2 a počet jeho impulsů na jednu otáčku motoru nastavením *P0408* na hodnotu 1024.

5.2.1. Sestavení polohové regulační smyčky

Ostatní parametry již byly nastaveny v programu DriveMonitor a následně do měniče nahrány (komunikace mezi měničem a DriveMonitorem, dále kap. 6.2). Jednalo se o nastavení BICO parametrů potřebných k zapojení volných funkčních bloků, díky kterým byla sestavena polohová regulační smyčka. Z technologického PID regulátoru byl použit blok integrace, do kterého byla z enkodéru parametrem *r0061* přivedena hodnota aktuálních otáček motoru. Tím byl zajištěn převod otáček motoru na aktuální hodnotu dráhy. Výstup z integrátoru byl přiveden společně se vstupem žádané hodnoty polohy do rozdílového bloku SUB1. Z rozdílu těchto hodnot byla na výstupu SUB1 získána regulační odchylka, která byla dále zesílena vynásobením konstantou v bloku MUL1. Zesílená hodnota byla přivedena přes parametr *P1070* do otáčkové regulační smyčky jako žádaná hodnota otáček, na této cestě byla navíc upravena v blocích AFM, Limit a RFG. Blok AFM potlačuje nežádoucí kmitočty, Limit vymezuje minimální a maximální hodnotu a RFG (Ramp Function Generator) omezuje maximální rychlost s jakou může hodnota narůstat a klesat.

Toto zapojení vycházelo z prvotní myšlenky a jeho hlavním nedostatkem bylo příliš zdlouhavé dosažení žádané polohy rotoru. To bylo způsobeno tím, že požadavek na otáčky vycházel z rozdílu žádané a skutečné polohy a ten se v podstatě vlivem zpětné vazby blížil k nule až v nekonečném čase. Nejlepším řešením se ukázalo nastavení nulového požadavku na otáčky motoru v blízkosti cílové polohy. Toto zdánlivě jednoduché řešení rozšířilo, vzhledem k možnostem MM440, obvod o další funkční bloky. Z konstanty, která zesilovala regulační odchylku byla vytvořena proměnná, která při dosažení definované vzdálenosti od cílové polohy změnila svou hodnotu na nulovou. Vzniklo tak nulové zesílení regulační odchylky a tím i nulová žádost hodnoty otáček v blízkosti cílové polohy. K určení situace, kdy se poloha rotoru nachází v blízkosti cílové polohy, byly použity dva komparátory CMP1 a CMP2, které porovnávaly velikost regulační odchylky s hodnotou blízkou nule představující vzdálenost od cílové polohy. CMP1 porovnával odchylku s kladnou hodnotou a CMP2

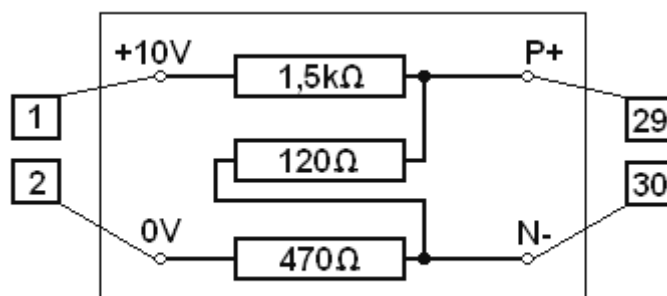
36

6. Měření vlastností servopohonu

Po sestavení pohonu byl proveden zkušební provoz. Nejprve pouhý rozběh motoru na požadované otáčky a následné zastavení motoru pomocí digitálních vstupů a panelu BOP. Poté byla testována funkčnost polohování pohonu. Původní polohová regulační smyčka bez rozšířené části využívala pro zadávání žádané hodnoty polohy parametr *P2890*. V programu DriveMonitor byla nastavena tato hodnota a sledován průběh polohování v podobě aktuálních hodnot parametrů. Již v těchto prvních testech bylo odhaleno několik nedostatků, jednak již dříve zmiňovaná příliš dlouhá doba pro zastavení motoru v cílové poloze, dále nevhodný způsob zadávání žádané hodnoty a v neposlední řadě nevyhovující necentralizované ovládání pohonu ze tří různých míst, z řídicí svorkovnice, panelu BOP a počítače. Na základě těchto poznatků bylo možno konstatovat, že pohon je schopen poměrně přesného polohování, ale k důkladnému prozkoumání jeho dynamických vlastností bude potřeba zajistit kompletní ovládání přes PC po sériové lince, vhodné zadávání žádané hodnoty co nejpřesnějším způsobem a průběh polohování zaznamenávat graficky z informací poskytnutých měřícím pohonem (kap. 3), který bude komunikovat s PC a využívat nástroj Trace programu DriveMonitor.

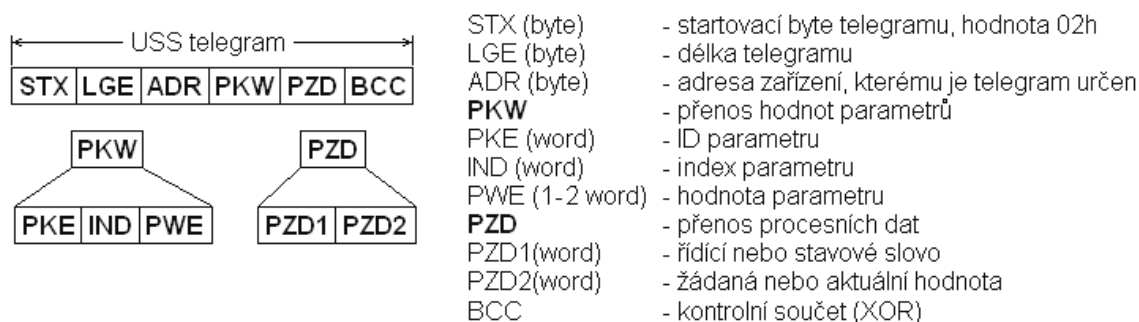
6.1. Komunikace s PC po sériové lince

Pro komunikaci mezi PC a MM440 byla vybrána sériová linka RS485 s komunikačním protokolem USS. Z PC je standardně vedena linka RS232, ta však byla přivedena do převodníku RS232/RS485 a odtud pokračovala komunikace do měniče. MM440 byl na lince jediným zařízením typu slave, proto bylo provedeno na svorkách řídicí svorkovnice 29 a 30 pro rozhraní RS485 impedanční zakončení odporem 120Ω společně s rezistory 470Ω a $1,5k\Omega$ pro definování klidového stavu linky a zároveň zajištěno napájení linky ze svorek 1 a 2 (Obr. 6.1). Měnič MDMC druhého (měřicího) pohonu komunikoval s PC stejným protokolem přímo po lince RS232, protože má pro ni již vyvedené rozhraní. Jak bylo zmíněno komunikace byla řešena protokolem USS, to znamená, že bylo potřeba



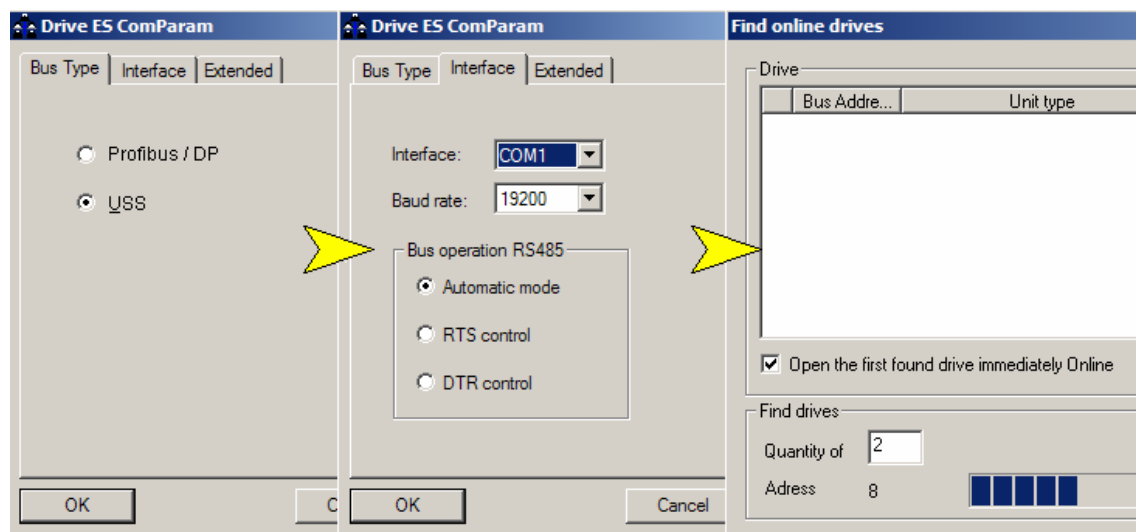
Obr. 6.1 Impedanční zakončení linky RS485

definovat „tvar“ telegramů, které budou posílány po lince. Telegram se skládá z šesti částí, všechny mají velikost 1 byte kromě částí PZD a PKW, ty jsou tvořeny slovy (16 bitů) a jejich počet byl nastaven v parametrech *P2012* a *P2013*. Pro naše účely postačila PZD část telegramu o velikosti 2 slova, pro příjem řídicího slova a žádané hodnoty nebo odeslání stavového slova a aktuální hodnoty. PKW část slouží k přenosu hodnot parametrů. Některé parametry jsou však 16-bitové a některé 32-bitové, z tohoto důvodu byl počet slov PKW nastaven hodnotou 127 v *P2013* a tím byla definována proměnlivá velikost této části podle velikosti přenášené hodnoty parametru.



Obr. 6.2 USS telegram, který byl používán při komunikaci po RS485

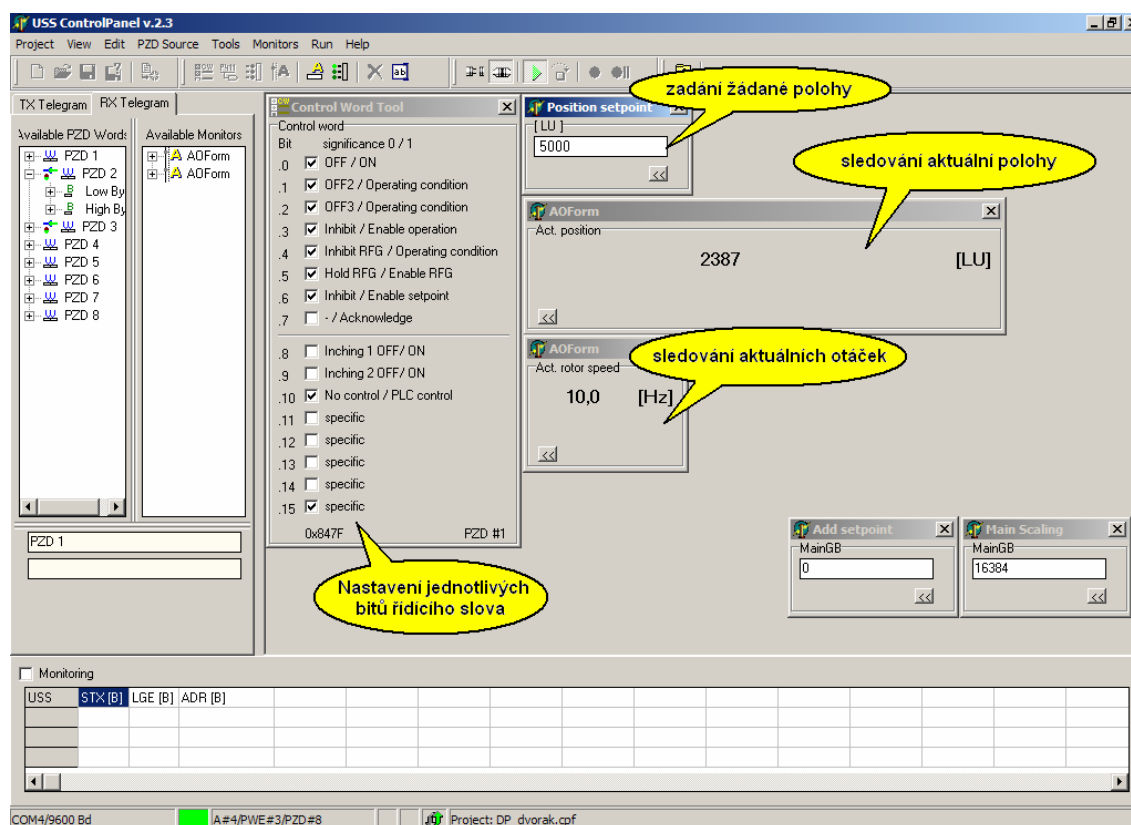
Nakonec musela být na straně měniče definována komunikační rychlost a jeho adresa na lince. To bylo provedeno nastavením parametrů *P2010* = 7 (19200 baud) a *P2011* = 4. Na straně PC byl používán software DriveMonitor, zde bylo nutné, pro úspěšné navázání spojení, shodné zadání parametrů komunikace (Obr. 6.3), program kontroluje všechny adresy a pokud nalezne zařízení komunikující s telegramy o délce PZD zadané v kolonce *Quantity of* naváže s ním komunikaci.



Obr. 6.3 Navázání komunikace s měničem pomocí DriveMonitoru

6.2. Zadávání žádané polohy

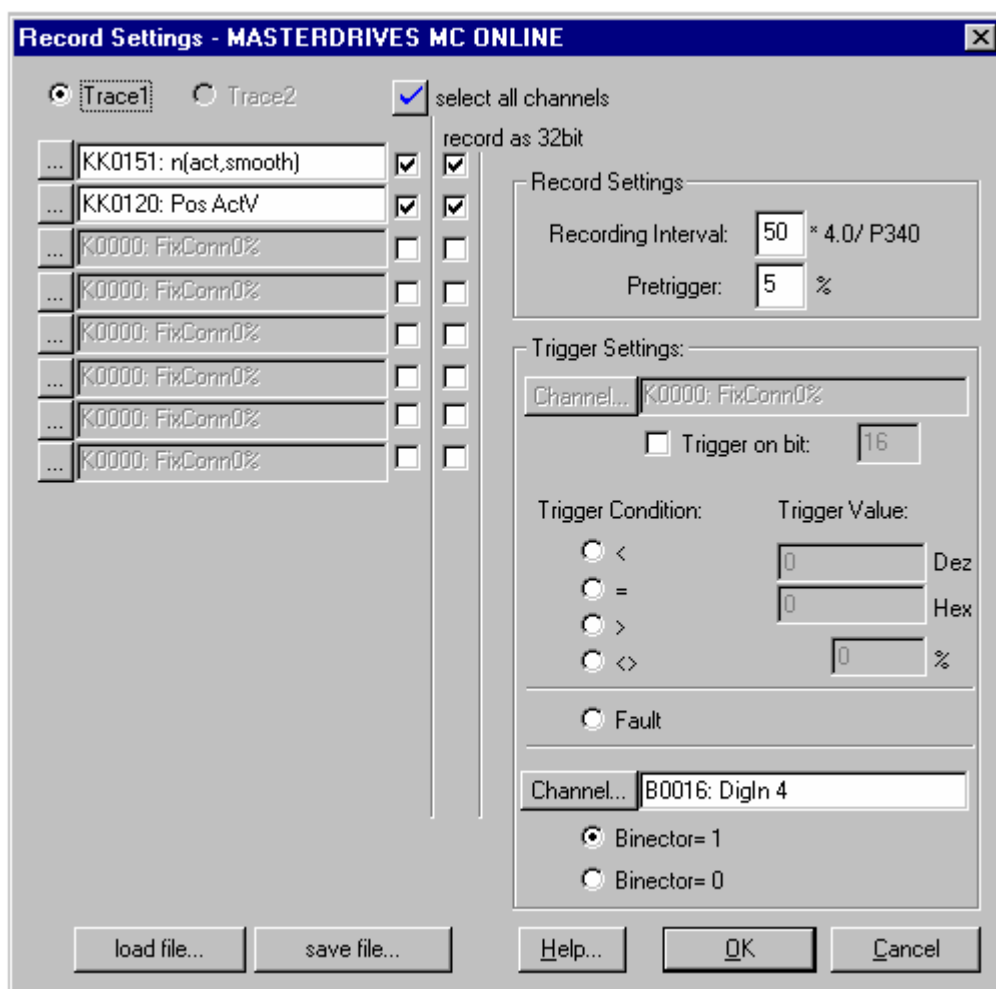
Aby bylo možno zadávat žádanou polohu z klávesnice PC, byla využita procesní část (PZD) telegramu USS. V této části je posílána do měniče jako druhé slovo žádaná hodnota a tou bylo možno představovat dráhu. Program DriveMonitor umožňuje zadání této 16-bitové hodnoty pouze v procentuálním tvaru s rozsahem -200% až 200%, neboť pro běžný provoz představuje žádanou frekvenci. Tento způsob zadávání žádané hodnoty polohy byl vzhledem k požadavkům na přesnost měření nedostatečný. Z tohoto důvodu byl použit software USS ControlPanel v.2.3 (Obr. 6.4), který byl využíván pouze k zadávání žádané polohy reprezentované číselným údajem z rozsahu -16384 až 16383 (16-bitů) a sledování aktuálních otáček a aktuální polohy rotoru. V programu bylo bit po bitu nastaveno řídicí slovo a v dalším okně žádaná poloha. Pak například prvním bitem řídicího slova bylo možné motor zastavit pro bezpečné zadání žádané polohy a následně povolit spuštění motoru, který se rozeběhl do požadované cílové polohy.



Obr. 6.4 Program USS ControlPanel v.2.3 (nastavování žádané polohy)

6.3. Zobrazování dat pomocí Trace

K přesnému měření byl použit pohon se synchronním servomotorem, který má zabudovaný daleko přesnější snímač otáček (4096 pulsů na otáčku). Pro zobrazení jím získaných informací o aktuální poloze a otáčkách byl využit opět DriveMonitor a jeho nástroj pro vizualizaci zaznamenaných dat Trace. Trace byl spuštěn z hlavního menu programu položkou *Diagnostic – Trace*. Následně byly ve menu *Settings* vybrány signály pro záznam s 32-bitovou kvalitou jejich vzorkování, dále signál pro startování záznamu a nastavena délka jednoho vzorku (Obr. 6.5).



Obr. 6.5 Nastavení parametrů pro vytvoření záznam v Trace

Záznam byl tvořen dvojicí signálů čtených z parametrů měniče MDMC, z parametru KK0151 obsahujícího aktuální rychlost rotoru a KK0120 obsahujícího aktuální polohu rotoru. V položce *Recording interval* byla nastavena velikost jednoho vzorku záznamu. Záznam probíhá tak, že se nejprve naplní zásobník všemi vzorky a teprve potom je vykreslen graf. Velikost zásobníku je omezena na 1024 32-bitových

hodnot vzorků, to znamená, že chceme-li pořídit hodně přesný záznam (co nejmenší vzorky), zkrátí se tím délka celého záznamu. Z tohoto důvodu byl údaj o délce jednoho vzorku měněn podle potřeby. V položce Pretrigger byla nastavena hodnota 5% to znamená, že prvních 5% záznamu bylo tvořeno vzorky získanými ještě před spuštěním měření, tím bylo možno sledovat chování motoru těsně před startem. Měření bylo startováno horní úrovní digitálního vstupu měniče MDMC na který byl přiveden logický signál z reléového výstupu měniče MM440 signalizující, že v polohovém regulačním obvodu měniče vznikla regulační odchylka, která uvede motor do pohybu.

Samotné měření pak probíhalo pouhým zadáním žádané polohy v programu USS ControlPanel, ta způsobila výše zmiňovaný vznik nenulové regulační odchylky polohy a program DriveMonitor na druhém počítači začal zpracovávat informace o otáčkách a poloze rotoru AM přicházející z měniče MDMC. Nástroj Trace po skončení záznamu vykreslil časové průběhy otáček a polohy (Obr. 6.6).



Obr. 6.6 Vizualizace polohy a otáček pomocí Trace

6.4. Získané výsledky měření

Naměřené údaje byly uloženy v podobě ASCII textového souboru (čas, otáčky a dráha v jednotlivých sloupcích) a následně přeneseny do programu Matlab, kde bylo studování získaných měření efektivnější. Vlastnosti sestaveného servopohonu ovlivňovalo více faktorů, jednak to byly konstanty integrátoru technologického PID regulátoru, dále zesílení regulační odchylky, následně úprava žádaného kmitočtu v bloku RFG, konstanty rychlostního regulátoru, způsob řízení kmitočtu a v neposlední řadě momentové zatížení motoru. Aby bylo možno postupně analyzovat vliv

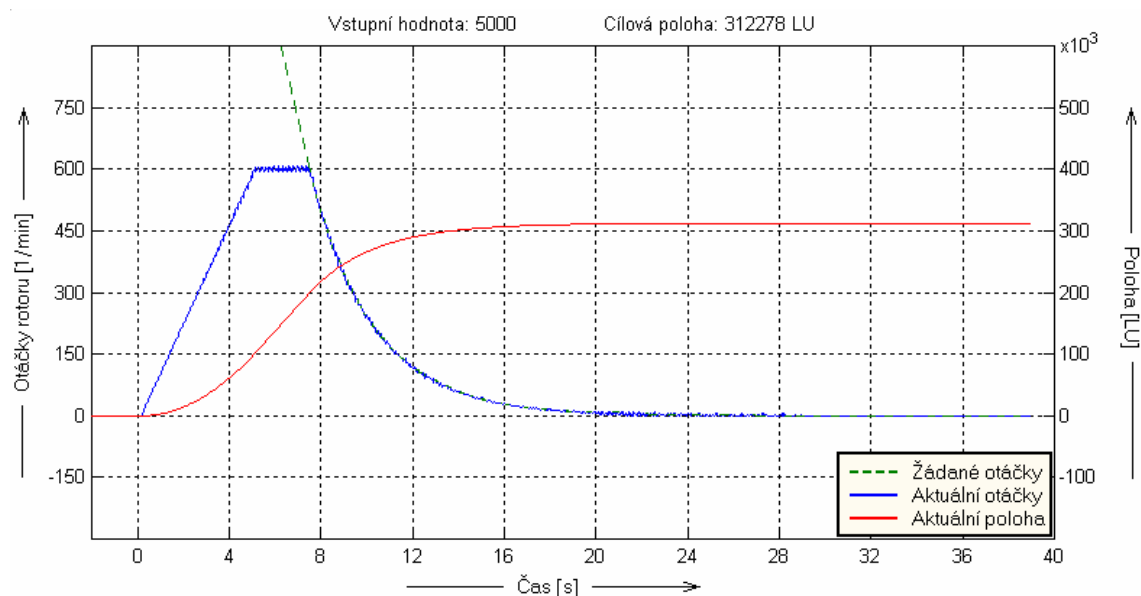
jednotlivých parametrů na dynamiku pohonu, bylo vytvořeno jedno výchozí optimální nastavení jeho atributů. Polohování při tomto nastavení mělo charakteristický průběh a účinky jednotlivých parametrů na kvalitu regulace byly vnímány jako odchylky od tohoto průběhu (Graf 1). V tabulce 6.1 jsou uvedeny všechny parametry, kterými bylo nastavováno chování pohonu při měření a jejich výchozí nastavení. Pro lepší přehlednost jsou označeny písmenem s indexem namísto jejich skutečného označení, to je uvedeno v závorce pod ním. Parametry, které nebyly zkoumány, byly ponechány na hodnotách továrního nastavení měniče:

Parametr	Hodnota	Jednotka	Význam
K_i (P2280)	0,1	[s]	proporcionální složka technologického PID regulátoru
T_i (P2285)	1	[-]	integrační složka technologického PID regulátoru
K_p (P1001)	200	[%]	proporcionální složka polohového regulátoru
m (P2889) (P2890)	0	[%]	mez pro zastavení pohonu (velikost regulační odchylky polohy, při které je nastaveno zesílení K _p = 0%)
f_{max} (P1082)	10	[Hz]	maximální frekvence motoru
t_{up} (P1120)	5	[s]	doba rozběhu motoru do maximálních otáček
t_{down} (P1121)	2,5	[s]	doba pro zastavení motoru z maximálních otáček
K_n (P1460)	20	[-]	proporcionální složka rychlostního regulátoru
T_n (P1462)	25	[ms]	integrační složka rychlostního regulátoru
M_z	0	[Nm]	moment zátěže motoru
VC	vektorové řízení otáček s encoderem		

Tab. 6.1 Hodnoty parametrů výchozího nastavení pohonu

Na grafu (Graf 1) je možné již nyní ukázat vliv některých parametrů. Přestože jsou žádané otáčky na výstupu polohového regulátoru výrazně vyšší než skutečné, narůstají otáčky motoru lineárně po dobu 5 sekund než se zastaví na konstantní hodnotě 600 min^{-1} , to je způsobeno definovanou dobou t_{up} rozběhu motoru na maximální otáčky definované f_{max} . Dále je vidět, že rotor zhruba po 22 sekundách téměř dosáhl žádané polohy, ale ještě 8 sekund uplynulo než se motor úplně zastavil. Tento problém by řešila proměnná proporcionální složka polohového regulátoru, která by exponenciálně narůstala s klesající regulační odchylkou, to ovšem regulátor sestavený z volných

funkčních bloků neumožňoval. Přesto bylo nalezeno alespoň částečné, již zmiňované (kap. 5.2.1), řešení kdy je regulace polohy přerušena jakmile regulační odchylka klesne pod stanovanou mez. Parametrem m byla tato mez definována, ten byl však pro výchozí nastavení 0%, proto není jeho vliv v grafu vidět, ale bude ukázán později.



Graf 1 - Průběh polohování při výchozím nastavení pohonu

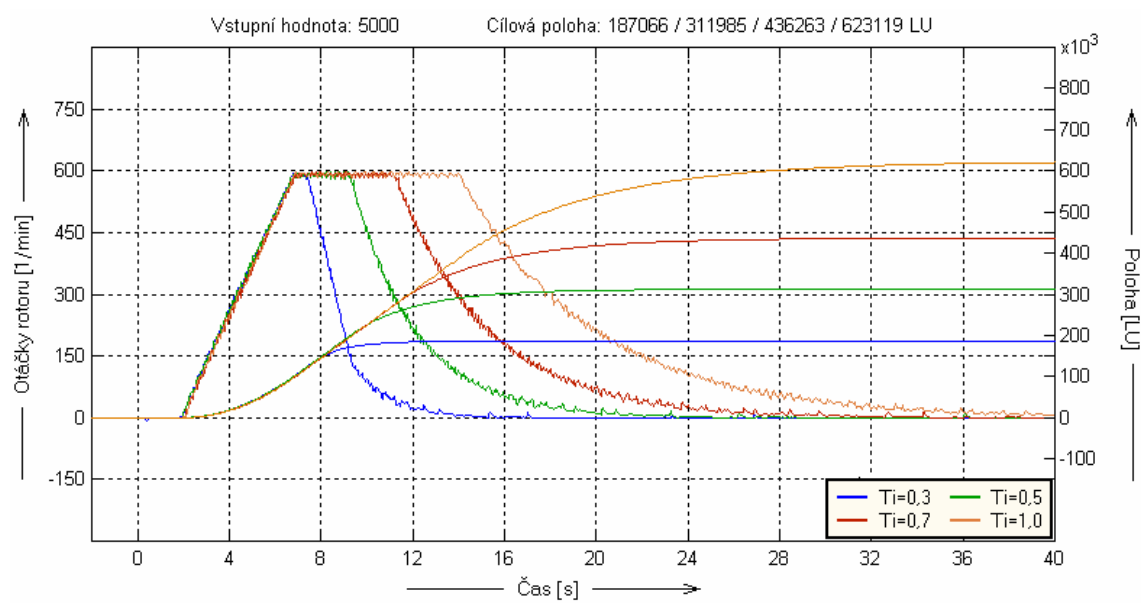
Pro zadání vstupní hodnoty byl k dispozici rozsah hodnot od -16384 do 16383. Na základě zadání této hodnoty vykonal rotor určitý počet otáček, který odpovídal její velikosti a aktuálnímu nastavení parametrů pohonu. Jedním z cílů měření bylo nalezení vztahu, který by přesně definoval potřebné nastavení parametrů pohonu tak, aby konkrétní vstupní hodnota odpovídala uživatelem zvolenému úseku dráhy, kterou rotor následně vykoná.

6.4.1. Vliv konstant technologického PID regulátoru

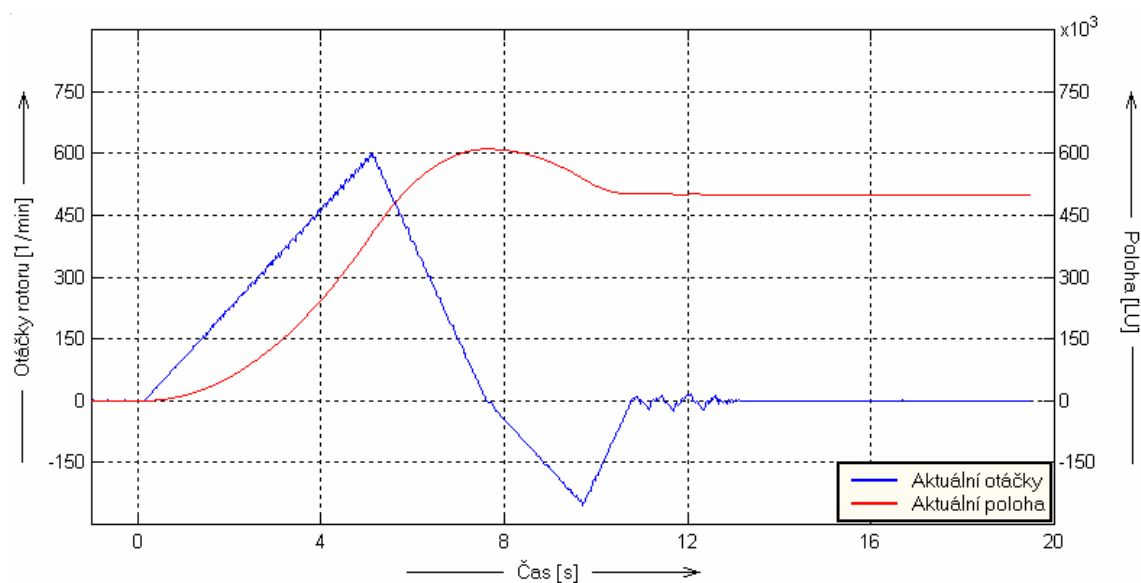
Integrátor technologického PID regulátoru převáděl aktuální otáčky rotoru na informaci vypovídající o jeho aktuální poloze. Nastavením konstant K_i a T_i byl tento převod ovlivňován, měly proto největší vliv na počet otáček (délku dráhy), které rotor vykonal na základě vstupního požadavku. Pro stejnou žádanou hodnotu polohy byla prováděna měření s různými konstantami T_i a byl sledován průběh otáček a polohy, kterou rotor urazil (Graf 2). Je zřejmé, že mezi konstantou T_i a dosaženou cílovou polohou existuje lineární závislost. Jejím určením se zabývá kapitola 6.4.6.

Za povšimnutí navíc stojí průběh otáček při nastavení $T_i=0,3$ (modrý graf), kde otáčky první asi dvě sekundy brzdění klesaly lineárně. To bylo způsobeno příliš

prudkým poklesem žádané hodnoty otáček, takovým že by motor musel brzdit rychleji než bylo definováno konstantou t_{down} , proto v této chvíli neodpovídaly otáčky žádané hodnotě, ale klesaly po definované rampě v RFG. Je tedy zřejmé, že dráha, kterou rotor urazí při brzdění, nemůže být kratší než úsek odpovídající ploše pod touto dojezdovou rampou a z toho plynou určitá omezení pro nastavení konstant K_i , T_i a t_{down} . Na dalším grafu (Graf 3) je vidět případ kdy motor přestože brzdil maximálním nastaveným zrychlením překročil žádanou polohu. V polohovém regulátoru tak vznikla záporná regulační odchylka a motor se rozeběhl opačným směrem, aby dosáhl cíle.

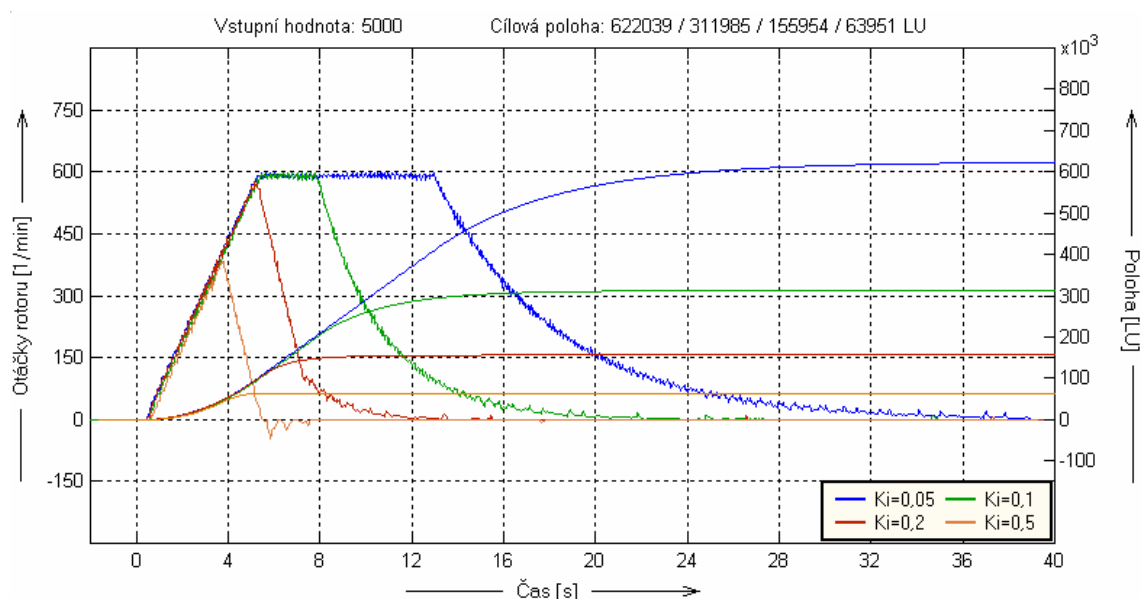


Graf 2 - Vliv časové integrační konstanty T_i technologického regulátoru na průběh polohování

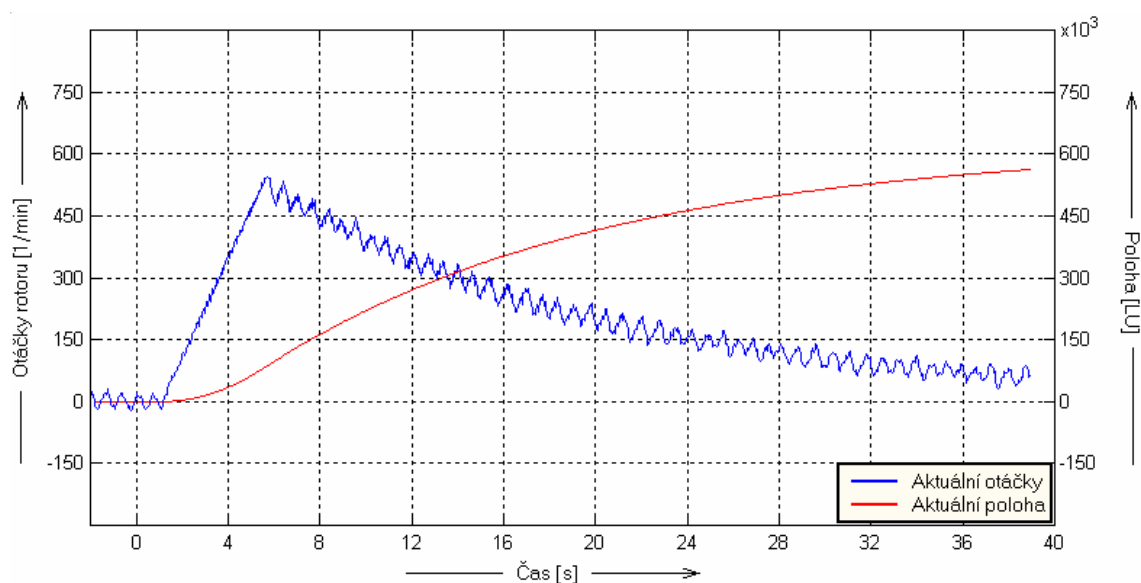


Graf 3 – Požadavek na pokles otáček nebyl splněn

Dále byla pro stejnou žádanou hodnotu měněna proporcionální složka K_i a sledován průběh otáček spolu s aktuální polohou rotoru (Graf 4). Bylo zjištěno že mezi konstantou K_i a rotorem dosaženou cílovou polohou platí nepřímá úměra, s rostoucí proporcionální složkou se zkracovala dosažená dráha rotoru. Možnost měnit tuto složku byla značně omezená, protože nejmenší možná zadaná hodnota byla 0,01 a při hodnotách vyšších než 0,5 se pohon dostal na mez stability, neboť i malá změna otáček vyvolala velikou změnu hodnoty polohy (Graf 5). Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že proporcionální složka technologického PID regulátoru zůstane trvale nastavena na konstantní hodnotě 0,1.



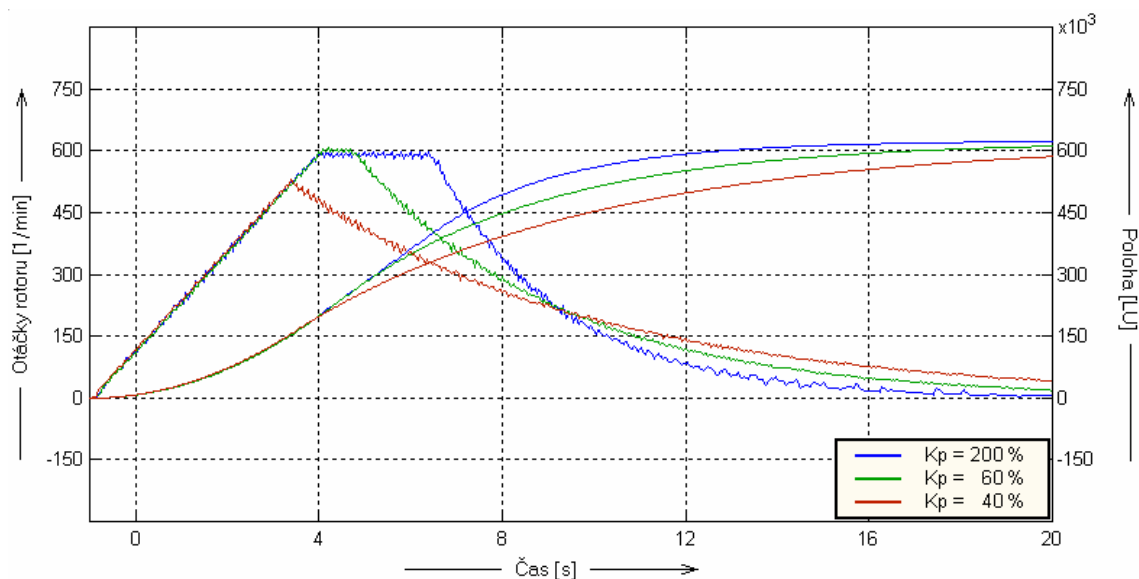
Graf 4 – Vliv proporcionální složky K_i technologického regulátoru na polohování



Graf 5 – Pohon na mez stability ($K_i = 1$, $T_i = 10$)

6.4.2. Vliv proporcionální složky polohového regulátoru

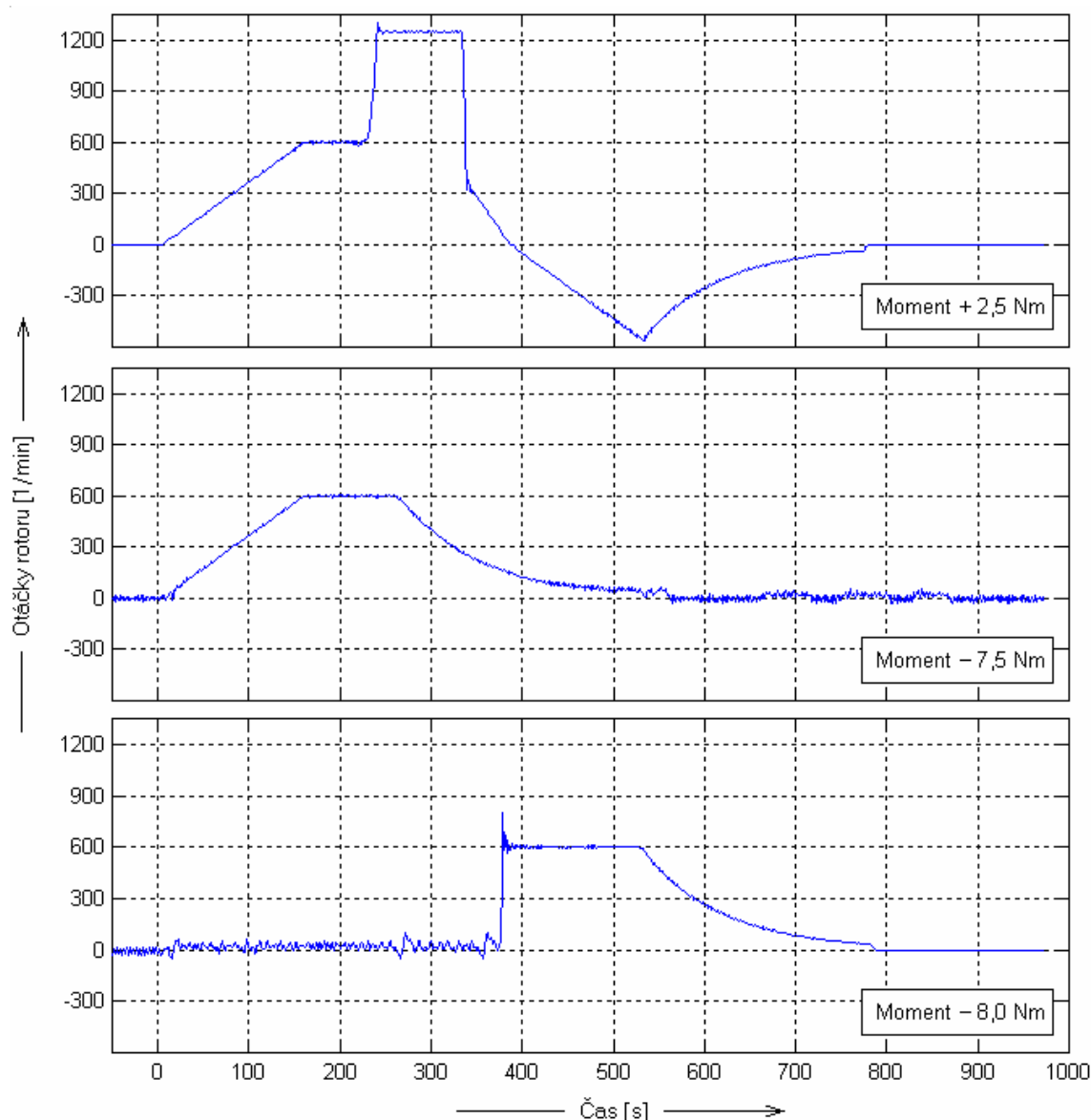
Sestavený polohový regulátor je vlastně P regulátor s konstantní hodnotou proporcionální složky K_p . P regulátor je tvořen blokem MUL1 (Obr. 5.3) a jeho možnosti nastavení jsou tak omezeny na maximálně dvojnásobné zesílení. Následující graf ukazuje průběh při různých hodnotách složky K_p (Graf 6). Vzhledem k tomu, že jiné než maximální nastavení této konstanty pouze zpomalovalo dojezd do cílové polohy, bylo rozhodnuto, že proporcionální složka K_p bude trvale nastavena na maximální hodnotu 200 %.



Graf 6 – Vliv proporcionální složky K_p polohového regulátoru na průběh polohování

6.4.3. Chování pohonu při zatížení a jiném způsobu řízení

Pohon byl postupně zatěžován až po mezní hodnoty momentu jednak ve směru otáčení rotoru a jednak proti jeho smyslu. Velikost momentu neměla na průběh polohování žádný vliv dokud nedosáhla limitní hodnoty vycházející z výkonu a otáček použitého motoru a mezí nastavených parametry $P1520$ a $P1521$ ($\pm 7,5$ Nm). Ve směru otáčení rotoru byl zaznamenán mezní moment o velikosti 2,5 Nm, kdy motor po určité době polohování změnil své otáčky nad stanovené meze. Zatěžování bylo okamžitě přerušeno a pohon dokončil regulaci do stanovené polohy (Graf 7: Moment + 2,5 Nm). Při zatěžování proti smyslu otáčení rotoru dosáhl pohon vždy stanovené polohy až do velikosti momentu 7,5 Nm, což byla jeho limitní hodnota, při tomto momentu však nedosáhl zcela klidového stavu (Graf 7: Moment – 7,5 Nm). Moment o velikosti 8 Nm byl již pro pohon nepřekonatelný a při zadání žádané polohy se rotor nezačal otáčet dokud nebylo působení momentu přerušeno (Graf 7: Moment – 8 Nm).



Graf 7 – Vliv zatěžovacího momentu, mezní případy

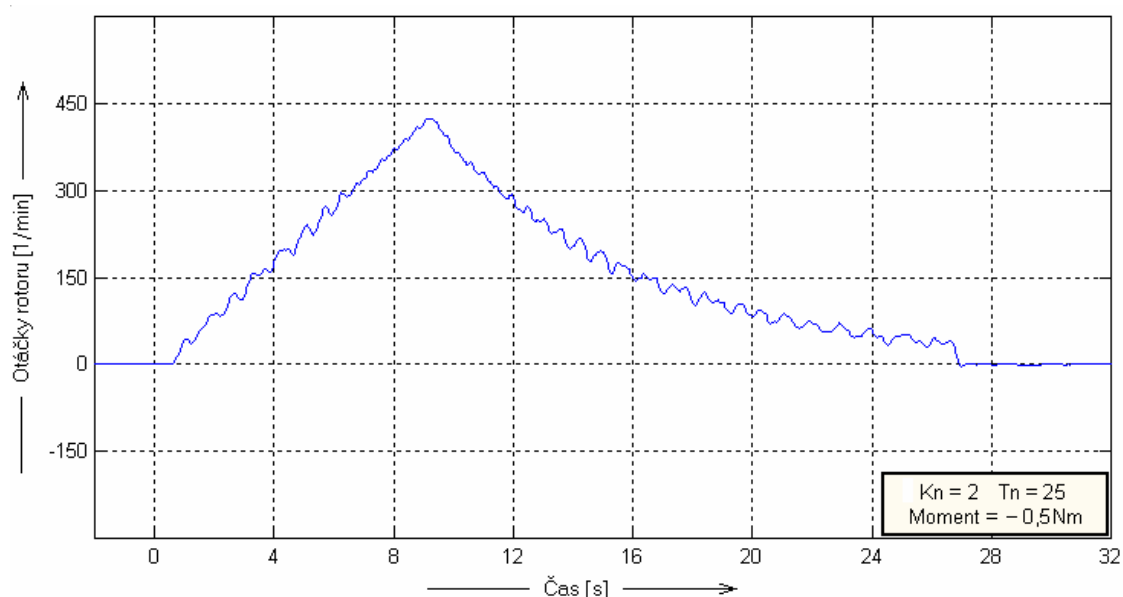
Dále byl provoz testován pro jiný způsob řízení. Po celou dobu měření bylo nastaveno vektorové řízení využívající informací z encoderu (VC), protože se jedná o nejkvalitnější způsob řízení, který Siemens MM440 nabízí. Předmětem zájmu současně bylo i prozkoumání chování pohonu při jednoduchém skalárním (V/f) řízení.

Dokud nebyl hřídel motoru zatížen probíhalo polohování stejně dobře jako při vektorovém řízení. Ovšem již při malém zatížení se ukázalo, že tento způsob řízení je nevhodný, neboť při nulových otáčkách motor nevykazoval téměř žádný točivý moment. To se projevovalo tak, že se hřídel po zatížení vychýlila až do polohy, kdy v polohovém regulátoru vznikla taková regulační odchylka, která si vyžádala nárůst

otáček rotoru. Tato žádost nabudila motor natolik, že byl schopen moment vyrovnat, jeho nová klidová poloha však neodpovídala klidové poloze bez zatížení.

6.4.4. Vliv konstant rychlostního regulátoru

U rychlostního regulátoru byla opět měněna proporcionální složka a časová integrační konstanta. Byla sledována odezva systému na žádanou hodnotu otáček, přicházející z polohového regulátoru, při změnách jejich nastavení. Snížení velikosti proporcionální složky vedlo ke snížení točivého momentu pohonu tak, že například při $K_n = 2$ měl motor problémy překonat proti němu působící moment o velikosti pouhých 0,5 Nm (Graf 8). Naopak zvýšení hodnoty K_n nad 25 vedlo k nestabilitě pohonu. Změna časové integrační konstanty naopak nezpůsobila, pro toto nastavení pohonu, žádné změny v polohování. Z uvedených důvodů bylo rozhodnuto, že nastavení $K_n = 20$ a $T_n = 25$ je vhodné pro správnou funkci servopohonu a není potřeba ho měnit.

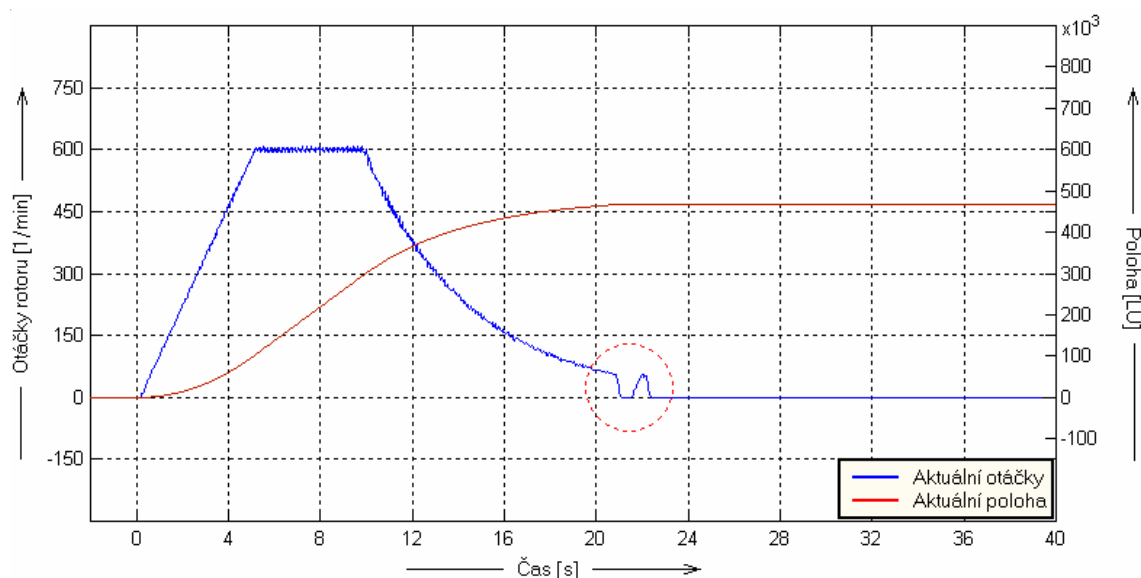


Graf 8 – Důsledek nízké hodnoty proporcionální složky K_n rychlostního regulátoru

6.4.5. Nastavování meze pro zastavení pohonu

Jak bylo zmíněno v kapitole 5, vytvořený obvod nabízel možnost přerušit polohování s následným brzděním motoru po definované rampové funkci až do úplného zastavení. Limit pro takovéto zastavení motoru byl nastavován parametrem m . Jeho hodnota udává jak velká musí být regulační odchylka polohového regulátoru, aby byla regulace zahájena, respektive pro jakou hodnotu regulační odchylky má být regulace přerušena. Je uváděna v procentech kde 100% odpovídá regulační odchylce při maximální možné žádané hodnotě polohy, tedy $100\% = 16384$.

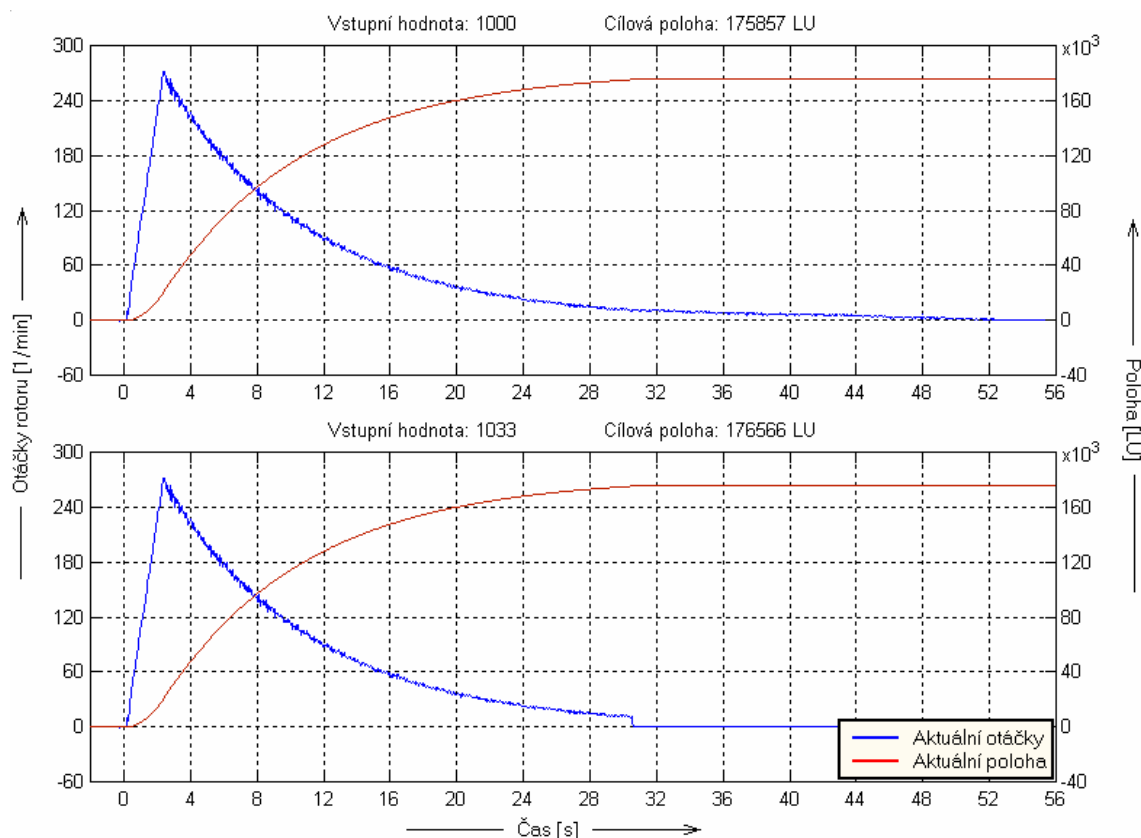
Funkčnost obvodu s nastaveným přerušením regulace byla ověřována mnoha měřeními. Již první měření odhalilo nesprávnou funkci, která se projevovala krátkodobým rozeběhnutím motoru chvíli po jeho úplném zastavení (Graf 9). Odhalení příčiny toho nežádoucího chování pohonu bylo věnováno mnoho dalších měření, kterými bylo zjištěno, že problém způsobuje zpoždění signálu v každém funkčním bloku, které se ve výsledku blíží téměř jedné sekundě, kde přesně chyba vznikala však zjištěno nebylo. Získané informace ovšem přispěly k nalezení řešení zpozdit signál, který vypíná regulaci, blokem Timer1 s nastaveným zpožděním 1s.



Graf 9 – Nesprávná funkce obvodu pro přerušení polohové regulace

Dále bylo měřeno zda přerušení regulace skutečně odpovídá nastavenému limitu v parametru m . Zpoždění funkčními bloky a následně časovačem trvalo dohromady 1,8s, za tuto dobu se motor stihl ještě několikrát otočit podle toho, jaká byla jeho aktuální rychlost vyplývající z parametru m . To, jakou dráhu představoval úhel otočení rotoru za tuto dobu, souviselo s aktuálním nastavením T_i . Byl proveden následující test. Při vstupní hodnotě 1000 a konstantě $T_i = 1,5$ urazil pohon dráhu o délce 175857 LU (obecná jednotka - Length Unit). Následně byl v pohonu nastaven parametr m na hodnotu 0,2% což odpovídalo regulační odchylce o velikosti 33 a tato hodnota byla připočtena ke vstupní, aby nová žádost 1033 nadále odpovídala hodnotě 1000 bez zkrácení regulace. Výsledkem bylo zkrácení regulace z původních 52 sekund na 30, ale odchylka od cílové polohy činila 709 LU (Graf 10). Ve skutečnosti právě kvůli zpoždění došlo k zastavení pohonu až při odchylce 29, takže správné zadání vstupu by mělo být 1029. Nejlepším řešením jak zajistit správnou korekci vstupní hodnoty se

ukázalo zkušební polohování na krátkou vzdálenost při zvoleném parametru m , po jehož skončení byla přčtena regulační odchylka na výstupu bloku SUB1, kterou již stačilo pouze přičíst ke vstupní hodnotě. Bohužel v měniči již nebyla možnost jak tuto korekční hodnotu automaticky přičítat. Řešením by mohla být automatická korekce provedená v nadřazeném řídicím systému, který sestavuje telegram s žádanou hodnotou.



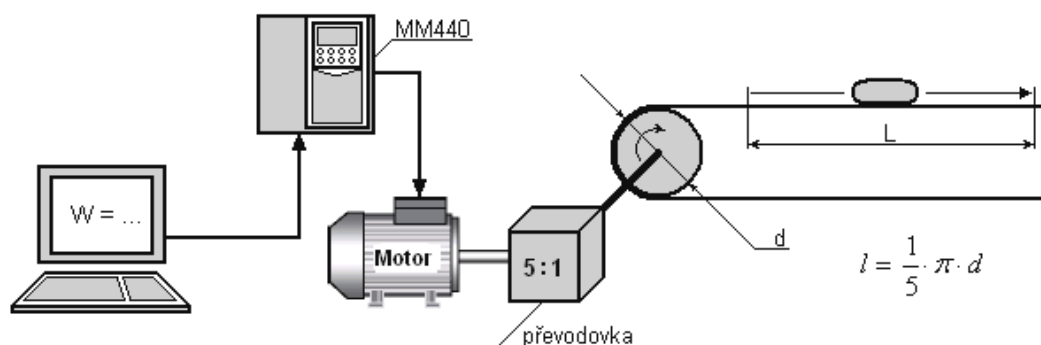
Graf 10 – Využití parametru m ke zkrácení doby regulace

6.4.6. Získaný vztah pro nastavení pohonu

Na základě získaných informací o vlastnostech pohonu při různém nastavení jeho parametrů byl odvozen vztah pro jejich přesné nastavení dle úseku, na kterém se bude polohovat. Nejvhodnějším parametrem pro nastavování se ukázala integrační složka K_i technologického regulátoru, protože mohla být měněna ve velkém rozsahu a ovlivňovala dojezdovou vzdálenost pohonu vzhledem k žádané hodnotě polohy. Ostatní parametry byly ponechány v optimálním nastavení uvedeném v Tab. 6.1 a odvozený vztah dostal následující tvar

$$T_i = \frac{L}{W \cdot k \cdot l} \quad (6.1)$$

kde L je vzdálenost v obecných jednotkách (LU), které má pohon dosáhnout při zadaném vstupním požadavku W , k je experimentálně získaná konstanta z velkého počtu měření při různých hodnotách T_i a její hodnota je 0,0305, l udává kolik obecných jednotek (LU) odpovídá jednomu otočení rotoru.



Obr. 6.7. Ilustrační příklad aplikace servopohonu a nalezení proměnných L , W a l .

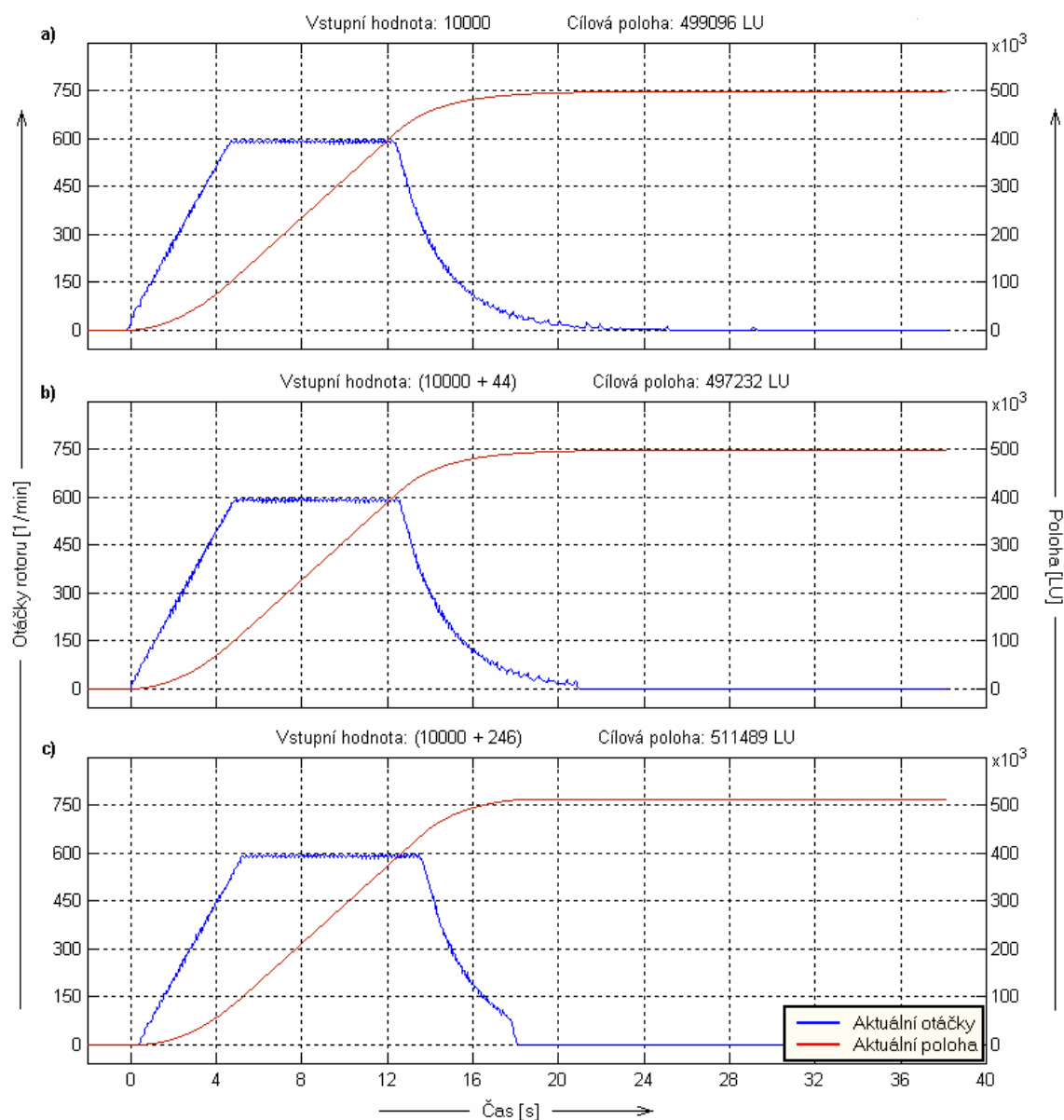
Použití vztahu je snadné, chceme-li aby například při vstupnímu požadavku 10000 bylo dosaženo dráhy 20m (20000mm) a odpovídá-li jedna otáčka rotoru, přes případnou převodovku, úseku 23mm je potřeba nastavit konstantu T_i na hodnotu 2,851.

$$T_i = \frac{20000}{10000 \cdot 0,0305 \cdot 23} = 2,851$$

Výsledek je potřeba zaokrouhlit na tři desetinná místa, přesnější hodnotu není možné do parametru zadat. Dále musí být v intervalu od 0,25 do 60. Pro hodnoty menší než 0,25 by motor nestihl zastavit v cílové poloze (vysvětleno kap. 6.4.1) a hodnota větší než 60 nemůže být nastavena, protože je maximem parametru P2850. Zrovna tak není vhodné využívat celý rozsah vstupní hodnoty pokud bude použito ukončování regulace parametrem m , protože je potřeba nechat prostor pro korekci vstupní hodnoty.

Přesnost výpočtu byla ověřena na následujícím příkladu. Rozlišovací schopnost synchronního servomotoru byla 4096 pulzů na otáčku, byla vypočtena konstanta T_i tak, aby vstupu 10000 odpovídalo 500000 těchto pulzů. Výsledek byl po zaokrouhlení zadán do odpovídajícího parametru P2285 = 0,400. Rotor byl zatížen momentem 5 Nm a po zadání žádané polohy 10000 vykonal necelých 122 otáček odpovídajících 499096 pulzů servomotoru (Graf 11a). Od předpokládané hodnoty 500000 byl rozdíl 904 pulzů což je asi čtvrt otáčky rotoru. Opakovanými pokusy bylo dosahováno podobných výsledků s rozdíly ± 200 pulzů. Následně byl nastaven parametr $m = 0,5\%$ a zjištěna korekce pro vstup (viz kap. 6.4.5). Opět byl zadán stejný vstupní požadavek, který

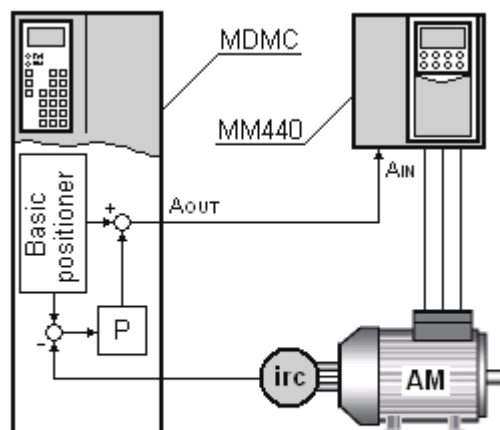
po korekci činil 10044 a byl sledován průběh (Graf 11b). Stejně tak pro $m = 3\%$ byl vstup 10246 (Graf 11c). Zde byl výsledek horší zejména ve druhém případě, protože při opakovaném určování korekční hodnoty vycházely rozdílné výsledky a nebylo možné ji přesně určit. V případě (b) se výsledek lišil od zadání o 2768 pulzů což je více než půl otáčky rotoru, v případě (c) dokonce o 11489 pulzů, tedy necelé tři otáčky. Z časového hlediska bylo naopak polohování s nastaveným $m = 3\%$ jednoznačně neoptimálnější.



Graf 11 – Testování přesnosti polohování servopohonu

6.5. Srovnání s kvalitním polohovým regulátorem

Kvalitní polohový regulátor bylo možno realizovat právě frekvenčním měničem Siemens MASTERDRIVE Motion Control, který byl používán k měření. S použitím bloku Basic positioner a některých dalších volných funkčních bloků byl ve zmíněném měniči připraven polohový regulátor. Jeho výstup byl analogovým signálem přiveden do rychlostního regulátoru měniče MM440. Zpětná vazba do MDMC byla zavedena externím encoderem zpracovávajícím signály z IRC čidla umístěného na AM (Obr. 6.8). Původní polohový regulátor sestavený z volných funkčních bloků měniče MM440 byl tedy nahrazen regulátorem z MDMC a vše ostatní, i způsob měření, zůstalo nezměněno. Tím bylo zajištěno objektivní porovnání výsledků obou regulací.



Obr. 6.8 Zavedení polohového regulátoru z měniče MDMC

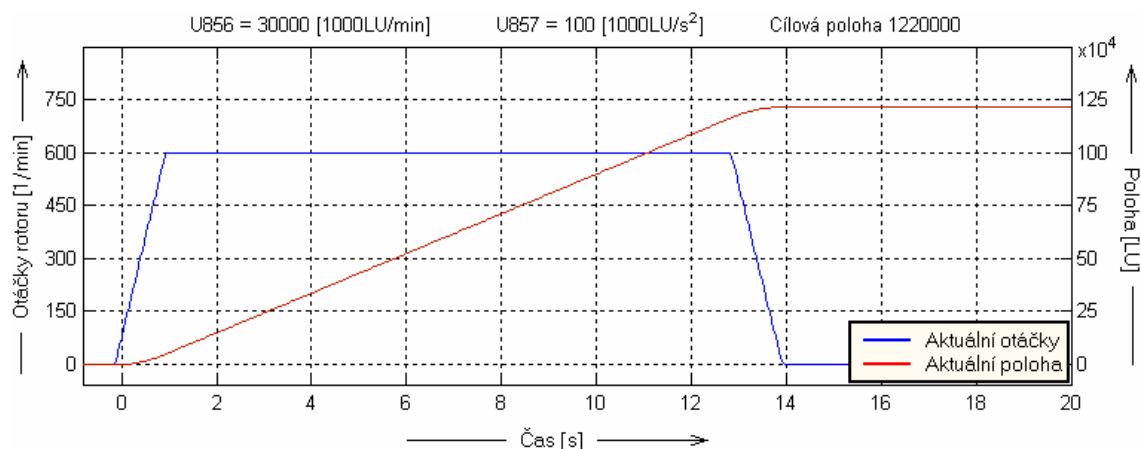
Vstup nového servopohonu byl tvořen čtyřmi parametry (U867, U868, U869.1...2) představujícími žádosti polohy, rychlosti, zrychlení a zpomalení a řídicím slovem (U866.1...14). Řídicím slovem bylo možno vybírat ze tří režimů polohování (REF, POS a SETUP), nastavení nulové polohy, klasické polohování a manuální polohování. Z těchto hodnot byly v bloku Basic positioner generovány signály žádaná poloha a korekce rychlosti (KK882 a KK881), jejichž aktuální hodnoty byly vytvářeny tak, aby odpovídaly definovanému rychlostnímu profilu. Rychlostní profil byl sestaven z procentuálních vstupních hodnot rychlosti a zrychlení a z normovaných hodnot rychlosti (U856) a zrychlení (U857). Normované hodnoty bylo potřeba vypočítat dle konkrétní aplikace následujícím způsobem

$$U856 = \text{rozlišení} \times \text{AVWF faktor} \times \text{referenční rychlost} \times 10^{-3} = \\ = 16384 \times \frac{10000}{16384} \times 3000 \times 10 = 30000 \text{ [1000LU/min]}$$

$$U857 = \frac{\text{normovaná rychlost (U856)}}{60 \times t} = \frac{30000}{60 \times 5} = 100 \text{ [1000LU/s}^2\text{]}$$

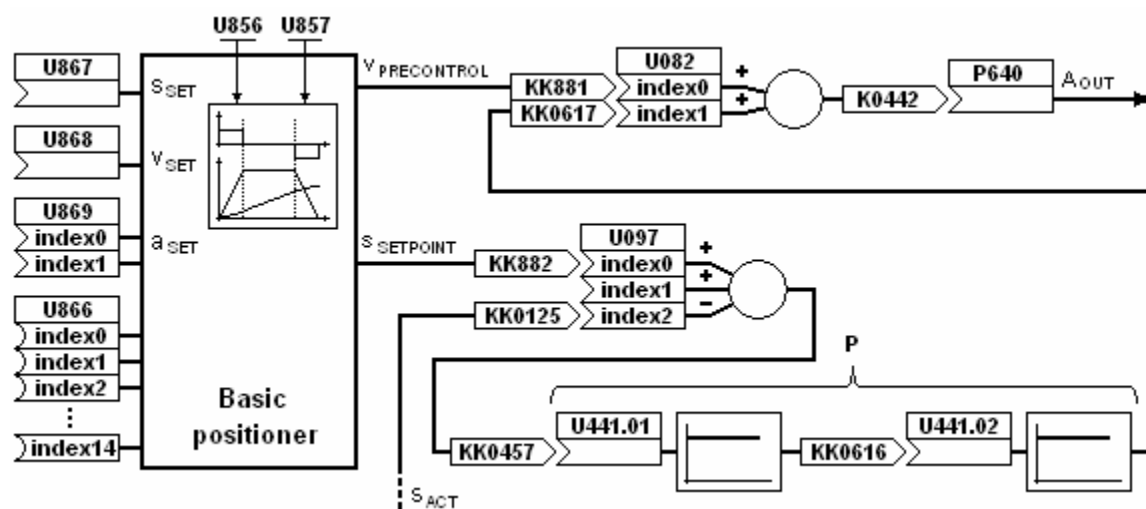
kde *rozlišení* bylo dáno rozlišovací schopností synchronního servomotoru a parametrem P171, *AVWF faktor* byl definován parametry P180 a P181 tak aby jedné otáčky rotoru odpovídalo zvolených 10000 LU, referenční rychlost byla přečtena z parametru P353 a

čas t určoval za kolik sekund má být dosaženo normované rychlosti. Výsledný profil byl pro srovnání se skutečností také sledován nástrojem Trace (Graf 12).



Graf 12 – Nastavený rychlostní profil v Basic positioneru

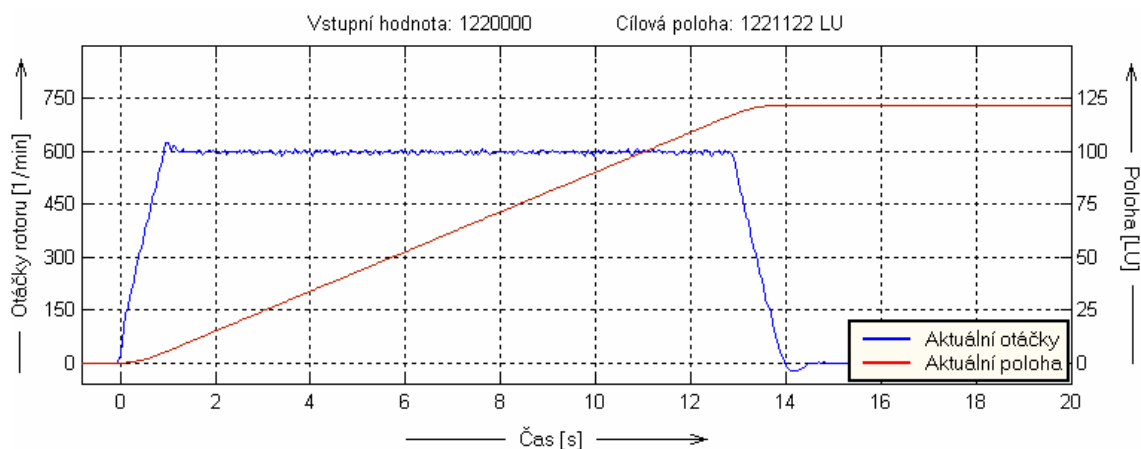
Výstup žádané polohy z Basic positioneru byl v rozdílovém bloku porovnán s aktuální polohou přicházející z IRC čidla AM, rozdíl byl dále zesílen a upraven dopřednou vazbou tvořenou druhým výstupem z Basic positioneru. Získaný výsledek (K0442) byl již hodnotu pro rychlostní regulátor, která byla poslána analogovým výstupem do měniče MM440 (Obr 6.9). Podrobnější popis použitých bloků lze nalézt v Compendium [10]. V příloze [C] pak detailní strukturu Basic Positioneru.



Obr. 6.9 Polohový regulátor s Basic positionerem

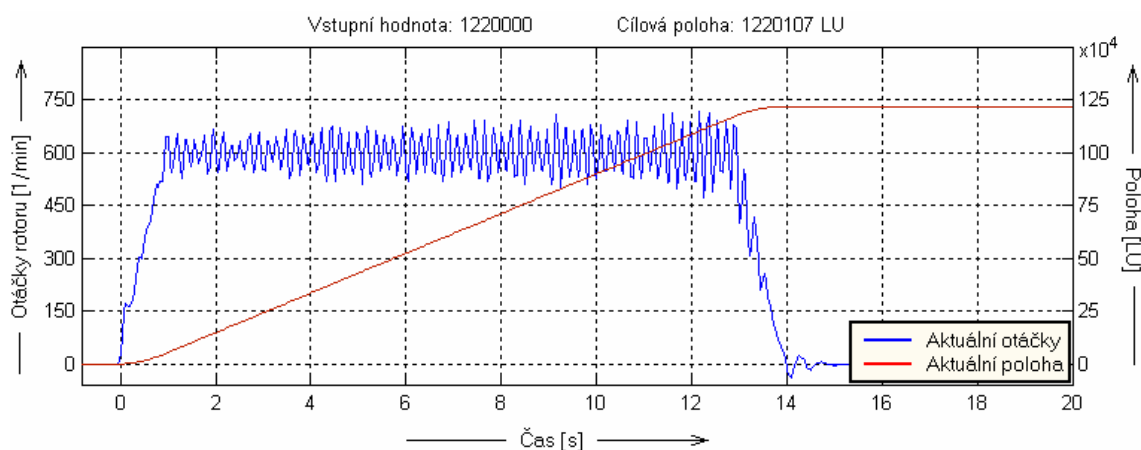
Pro srovnání s předchozím regulátorem byl zvolen stejný počet otáček pro vykreslení průběhu rychlosti a dráhy. Při zvoleném rozlišení 10000 LU na otáčku byla zadávána žádaná poloha 1220000 LU (122 otáček). Byl sledován vliv nastavení proporcionálního členu tvořeného dvěma zesilujícími bloky (**P** Obr. 6.9), které

dohromady umožňovaly nastavení jeho hodnoty v rozsahu 0 až 10^6 . Dále byl vyzkoušen provoz při skalárním (V/f) a vektorovém (VC) řízení měniče MM440 a nastavovány konstanty jeho rychlostního regulátoru.



Graf 13 – Průběh polohování s polohovým regulátorem měniče MDMC

Na Grafu 13 je vidět časový průběh otáček a dráhy při vstupním požadavku 122 otáček. Výsledný průběh téměř ideálně kopíroval definovaný profil a z hlediska přesnosti a času byl oproti předchozímu způsobu regulace úspěšnější. Cílová poloha byla dosažena s odchylkou $40^{\circ}23'$ natočení rotoru. Tuto odchylku bylo možné ještě mírně snížit zvětšením proporcionální složky regulátoru, která byla v tomto případě 10000. Limitní hodnotou proporcionální složky se ukázalo 60000 (Graf 14). Způsoby řízení a změna konstant rychlostního regulátoru měly na polohování srovnatelný vliv jako v předchozí variantě pohonu bez měniče MDMC.



Graf 14 – Neplynulý chod motoru způsobený příliš velkou proporcionální složkou polohového regulátoru

Shrnutí

Frekvenční měnič Siemens Micromaster MM440 může být společně s asynchronním motorem využit jako servopohon pro dynamicky nenáročné aplikace. Využitím jeho volných funkčních bloků je navíc možné realizovat polohovou regulační smyčku. Zapotřebí je IRC čidlo ke snímání polohy rotoru a encoder zpracovávající tuto informaci. K zadávání žádané polohy je potřeba nadřazený řídicí systém (PC), který posílá žádanou hodnotu v procesních datech USS telegramu. K dispozici je tak rozsah zadání od -16384 do 16383. Takový pohon umožňuje absolutní polohování do zadaného cíle s přesností $\pm 90^\circ$ natočení hřídele rotoru. Omezená sada FFB měniče však nedovoluje vytvořit regulátor s měnitelnou proporcionální složkou a dostatečným zesílením. Z tohoto důvodu není polohová regulace časově optimální. Částečné řešení problému přináší rozšíření regulační struktury o funkci ukončující regulaci při nízké regulační odchylce polohy. Aby byla zachována přesnost polohování při použití této funkce, je nutné vzniklou ztrátu pozice kompenzovat zadáním upravené žádané polohy. Použití pohonu pro konkrétní aplikaci vyžaduje výpočet časové integrační konstanty technologického PID regulátoru dle vztahu (6.1).

Další možností, jak realizovat servopohon s měničem MM440, je využití Basic Positioneru měniče MDMC k sestavení polohového regulátoru a žádané otáčky motoru přivést analogovým vstupem do MM440. Toto provedení již nevyžaduje nadřazený řídicí systém v podobě PC. Žádanou polohu je možné zadat ovládacím panelem měniče MDMC a to v rozsahu 2^{32} . Výstup snímače otáček je přiveden do MDMC, takže MM440 již nemůže pracovat v režimu vektorového řízení s encoderem (VC), ale musí být použito vektorové řízení bez encoderu (SLVC). Polohování je časově optimální a odpovídá definovanému profilu. Přesnost se pohybuje mezi $\pm 40^\circ$ úhlu natočení rotoru. Navíc je k dispozici volba jednoho ze tří režimů Basic Positioneru (REF, POS a SETUP). Použití pohonu v konkrétní aplikaci se provede přesným nastavením obecných jednotek (LU) na jednu otáčku motoru.

Pohon s asynchronním motorem a měničem MM440 pracuje spolehlivě při vektorovém řízení při zatížení do 2,5 Nm ve směru otáčení rotoru a do 7,5 Nm proti směru otáčení rotoru. V režimu skalárního řízení je točivý moment motoru úměrný žádané hodnotě otáček a při malé regulační odchylce polohy, tedy v blízkosti cílové polohy, je jeho moment téměř nulový. Skalární řízení tedy není vhodné pro tento způsob regulace polohy. Dynamika pohonu je díky vektorovému řízení s encoderem

(VC) měniče MM440 poměrně vysoká, pohon má jmenovitý moment i při nulových otáčkách. Sestavená polohová regulační smyčka z volných funkčních bloků dynamiku do jisté míry snižuje, protože doba vyhodnocení (cycle time) jednoho funkčního bloku je 128 ms. Dynamika ve druhé variantě servopohonu je naopak mírně snížena řízením bez encoderu (SLVC) a rozdělením regulace mezi dva měniče.

Srovnání obou variant servopohonů s měničem Siemens Micromaster MM440	
První varianta	Druhá varianta
Výhody: <ul style="list-style-type: none"> - řízení motoru v režimu VC - není potřeba druhý měnič 	Výhody: <ul style="list-style-type: none"> - není potřeba nadřazený ŘS - veliký rozsah žádané polohy - možnost nastavení přesného počtu jednotek na otáčku motoru - přesnější polohování - kratší doba polohování - režimy REF, POS a SETUP
Nevýhody: <ul style="list-style-type: none"> - potřeba nadřazeného ŘS - nižší přesnost polohování - delší doba polohování - schází možnost nulování pozice - malý rozsah žádané polohy - pro danou aplikaci nutnost výpočtu integrační konstanty 	Nevýhody: <ul style="list-style-type: none"> - realizace dvěma měniči - řízení motoru v režimu SLVC

Tab. 7.1 – Srovnání vlastností sestavených servopohonů

Získané výsledky odhalují jinak skryté možnosti měniče MM440 a budou jistě zajímavé pro uživatele, který hledá levné řešení pro dynamicky nepříliš náročnou aplikaci bez potřeby zvláštních režimů polohování (jogging, homing, inkrementální polohování). Například pohon posuvných nebo sekčních vrat či náhrada zastaralého pohonu kde je pohyb suportu vymezen stavitelnými mechanickými zarážkami.

Kvalitu polohování u první varianty pohonu by bylo možné zlepšit vhodným softwarem. Ten by například umožňoval zadávání polohy ve zvolených jednotkách, automatickou korekci vstupní hodnoty pro zvýšení přesnosti v konkrétní aplikaci nebo zadání sekvence poloh, které by postupně vstupovaly do měniče po obdržení informace o dosažení polohy, která by mohla být čtena například z parametru r2853 v rozšířené části polohového regulátoru. Pak by bylo možné například realizovat regálový zakladač apod. Dynamiku druhé varianty pohonu je možné zlepšit paralelním zavedením signálu z IRC snímače do encoderu MM440 a zajistit tak kvalitnější řízení (VC) motoru.

Závěr

V rámci diplomové práce byl sestaven pohon společně s pracovištěm pro jeho testování. Možnosti řídicí jednotky měniče MM440 byly analyzovány a na základě těchto poznatků byla, s využitím volných funkčních bloků a technologického PID regulátoru, úspěšně realizována polohová regulační smyčka. Zadávání žádané polohy si vyžádalo použití nadřazeného řídicího systému, který představovalo PC se softwarem USS ControlPanel v.2.3. Byla otestována dynamika a přesnost sestaveného pohonu. Ze získaných znalostí o jeho chování byl nalezen vztah, kterým lze vypočítat potřebnou časovou integrační konstantu technologického PID regulátoru, aby zvolená hodnota žádané polohy odpovídala zvolnému úseku, který pohon vykoná po jejím zadání. Tímto je zajištěna možnost připravit pohon pro konkrétní aplikaci a k polohování na téměř libovolném úseku.

Využitím některých funkčních bloků měniče MDMC a bloku Basic Positioner se povedlo realizovat další servopohon. Zde byl asynchronní motor nadále řízen měničem MM440, ale žádané otáčky přicházely z polohového regulátoru sestaveného v měniči MDMC. Pohon tak získal nové režimy polohování, možnost přesného definování rychlostního profilu a větší rozsah žádané hodnoty polohy bez nutnosti dalšího nadřazeného řídicího systému. Stejně jako v předchozím případě byla otestována přesnost a dynamika pohonu. Hlavním přínosem této varianty byla možnost srovnání obou řešení servopohonu.

Diplomová práce přináší poznatky z oblasti frekvenčně řízených asynchronních motorů, ukazuje možnosti řídicí jednotky frekvenčního měniče Siemens Micromaster MM440. Popisuje sestavení servopohonu s tímto měničem, naznačuje možnosti jeho využití, poukazuje na výhody i nedostatky, kde také nabízí možnosti jejich řešení, která mohou být námětem pro další vědecké práce.

LITERATURA

- [1] Caha Z., Černý M.: Elektrické pohony. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1990. 359 s. ISBN 80-03-00418-7
- [2] Javůrek J.: Regulace moderních elektrických pohonů. 1. vydání. Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 261 s. ISBN 80-247-0507-9
- [3] Pavelka J., Čerovský Z., Javůrek J.: Elektrické pohony. 2. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 221 s. ISBN 80-01-02314-1
- [4] Piskač L.: Elektrické pohony principy a funkce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. 118 s. ISBN 80-7082-970-2
- [5] Siemens Micromaster 440: Operating Instructions, Reference Manual. Siemens AG, 2001
- [6] Siemens Micromaster - měniče Micromaster 410/420/430/440 (0,12kW až 250kW), Katalog DA51.2. Siemens AG, 2006
- [7] Siemens motion control - SIMOVERT MASTERDRIVES MC Single-Motor and Multi-Motor Drives (0,55kW to 250kW), Catalog DA65.11. Siemens AG, 2003/2004
- [8] Siemens nízkonapěťové motory – Trojfázové asynchronní motory nakrátko 1LA7 (0,06kW až 18,5kW), Katalog K02 - 0605 CZ. Siemens AG, 2004
- [9] Siemens motion control – SERVO MOTORS Synchronous and Asynchronous Servo Motors for SIMOVERT MASTERDRIVES, Catalog DA65.3. Siemens AG, 2004
- [10] Siemens Simovert Masterdrives Motion Control, Compendium. Siemens AG, 2004
- [11] Siemens Micromaster 440: Parameter List, Reference Manual. Siemens AG, 07/2005
- [12] Webové stránky společnosti Siemens AG divize Automatizace a pohony. Siemens AG, 2006: <<http://stest.etnetera.cz/siemjet/cz/home/ad/Main/index.jet>>
- [13] Webové stránky RS485 zabývající se problematikou průmyslové komunikace. 09/2006: <<http://www.rs485.cz>>

- [14] MATLAB Help Desk, Online Manuals. 03/2007:
<<http://ccs.ucsd.edu/matlab/helpdesk.html>>
- [15] Webové stránky Elektrotechnického magazínu Etm. 05/2007:
<<http://www.etm.cz/casopis.php>>

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Uspořádání elektrického pohonu	11
Obr. 1.2: Obecné schéma servopohonu	13
Obr. 1.3: a) Časové průběhy kinematických veličin při polohové regulaci pro časově optimální regulaci $\varepsilon = \varepsilon_{\max}$, b) časově optimální regulace s omezením rychlosti	14
Obr. 1.4: Fázová trajektorie	14
Obr. 2.1: Náhradní schéma fáze asynchronního motoru	15
Obr. 2.2: Náhradní schéma frekvenčně řízeného asynchronního motoru	16
Obr. 2.3: a) Kompenzace vlivu odporu statoru, b) Momentová charakteristika AM při kmitočtovém řízení	17
Obr. 2.4: Kmitočtové proudové řízení	18
Obr. 2.5: Kmitočtové napěťové řízení	19
Obr. 2.6: Vektorový diagram	20
Obr. 3.1: Uspořádání pohonů	21
Obr. 3.2: Pohled na pracoviště	22
Obr. 3.3: Blokové schéma měniče MM440	23
Obr. 4.1: BICO parametry	29
Obr. 4.2: Propojování funkčních bloků BICO technologií	30
Obr. 4.3: Výřez okna DriveMonitoru	30
Obr. 4.4: Parametry volných funkčních bloků	32
Obr. 5.1: Silová svorkovnice měniče MM440 [5]	34
Obr. 5.2: Svorkovnice Encoderu	34
Obr. 5.3: Schéma regulačního obvodu polohové regulační smyčky	36
Obr. 6.1: Impedanční zakončení linky RS485	37
Obr. 6.2: USS telegram, který byl používán při komunikaci po RS485	38
Obr. 6.3: Navázání komunikace s měničem pomocí DriveMonitoru	38
Obr. 6.4: Program USS ControlPanel v.2.3 (nastavování žádané polohy)	39
Obr. 6.5: Nastavení parametrů pro vytvoření záznamu v Trace	40
Obr. 6.6: Vizualizace polohy a otáček pomocí Trace	41

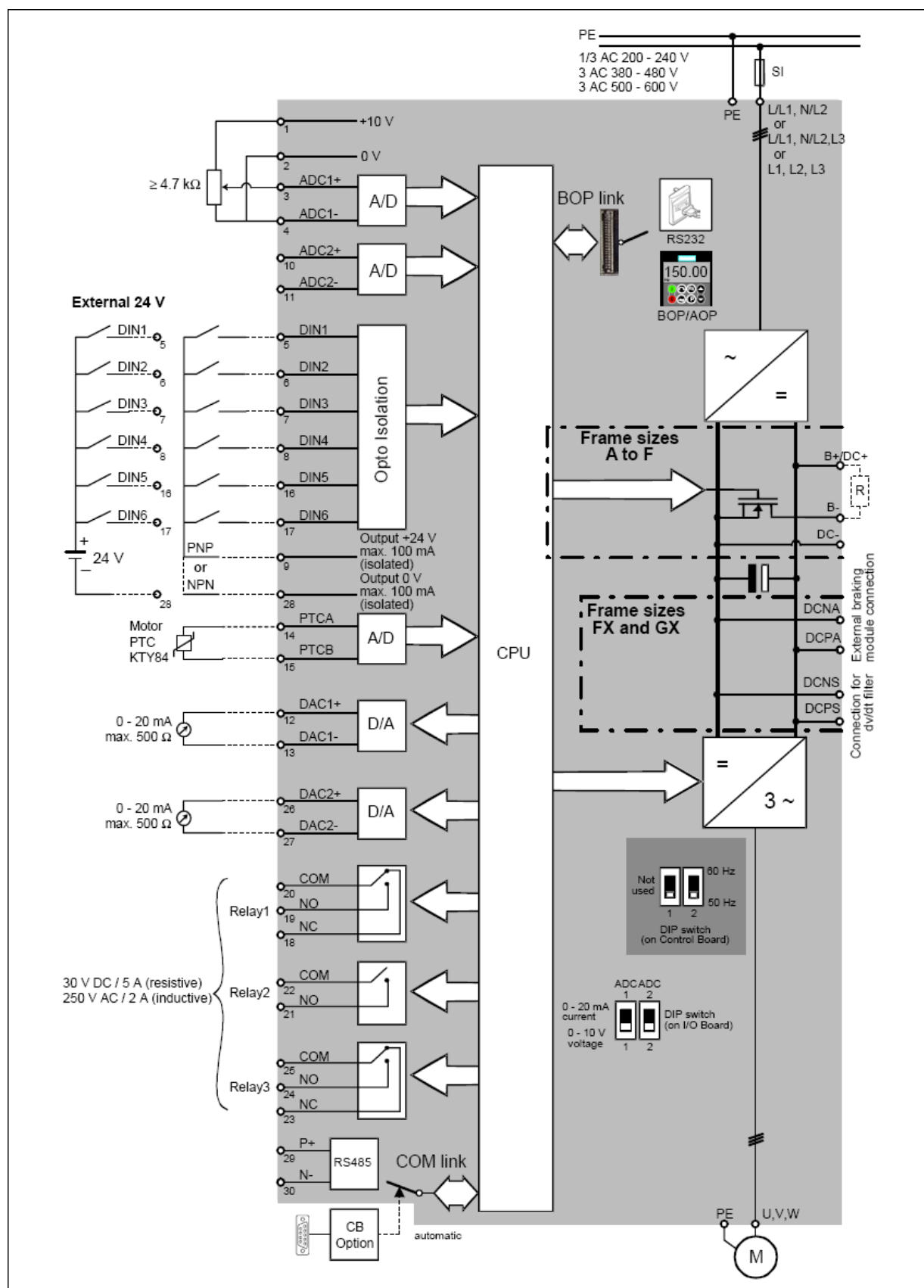
Obr. 6.7: Ilustrační příklad aplikace servopohonu a nalezení proměnných <i>L</i> , <i>W</i> a <i>I</i>	51
Obr. 6.8: Zavedení polohového regulátoru z měniče MDMC	53
Obr. 6.9: Polohový regulátor s Basic positionerem	54

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Štítkové hodnoty měniče MM440	24
Tab. 3.2: Štítkové hodnoty měniče MDMC	24
Tab. 3.3: Štítkové hodnoty asynchronního motoru	25
Tab. 3.4: Štítkové hodnoty servomotoru	26
Tab. 3.5: Štítkové hodnoty snímače otáček	26
Tab. 3.6: Štítkové hodnoty encoderu	27
Tab. 5.1: Nastavení parametrů podle štítku motoru	34
Tab. 6.1: Hodnoty parametrů výchozího nastavení pohonu	42
Tab. 7.1: Srovnání vlastností sestavených servopohonů.....	57

Příloha A – Blokové schéma frekvenčního měniče MM440

Kompletní blokové schéma uváděné v Reference manual [5]

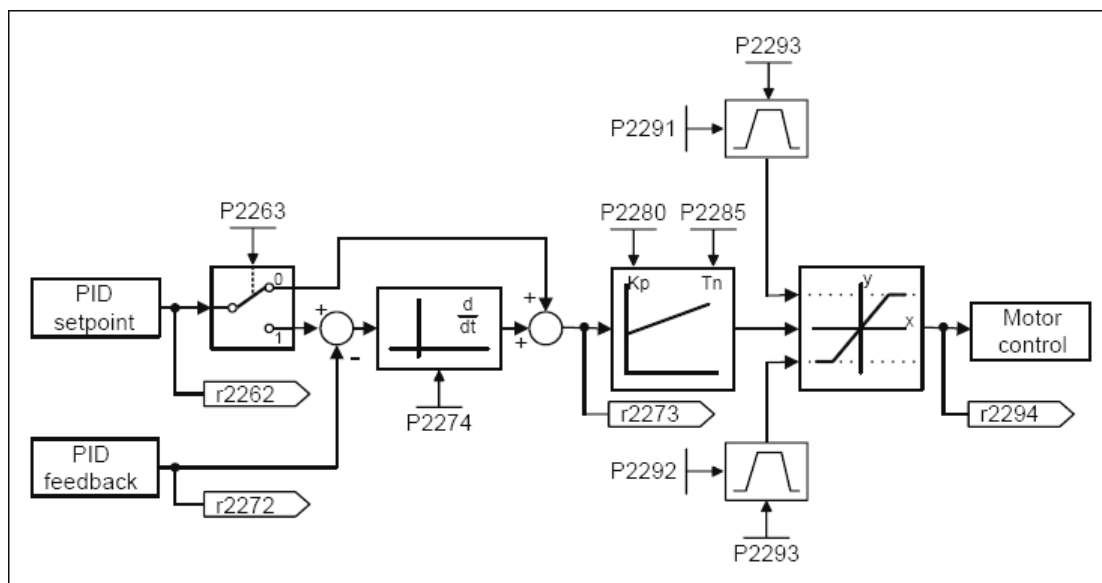


Příloha B – použité volné funkční bloky měniče MM440

Podrobný popis bloků vyňatý z Reference manual [5]

No.	Type	Example															
3	XOR	<p>XOR 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	C															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															
4	Timer	<p>Timer 1</p>															
2	SUB	<p>SUB 1</p> <p>Result = $x1 - x2$</p> <p>If: $x1 - x2 > 200\% \rightarrow \text{Result} = 200\%$ $x1 - x2 < -200\% \rightarrow \text{Result} = -200\%$</p>															
2	MUL	<p>MUL 1</p> <p>Result = $\frac{x1 * x2}{100\%}$</p> <p>If: $\frac{x1 * x2}{100\%} > 200\% \rightarrow \text{Result} = 200\%$ $\frac{x1 * x2}{100\%} < -200\% \rightarrow \text{Result} = -200\%$</p>															
2	CMP	<p>CMP 1</p> <p>Out = $x1 \geq x2$</p> <p>$x1 \geq x2 \rightarrow \text{Out} = 1$ $x1 < x2 \rightarrow \text{Out} = 0$</p>															

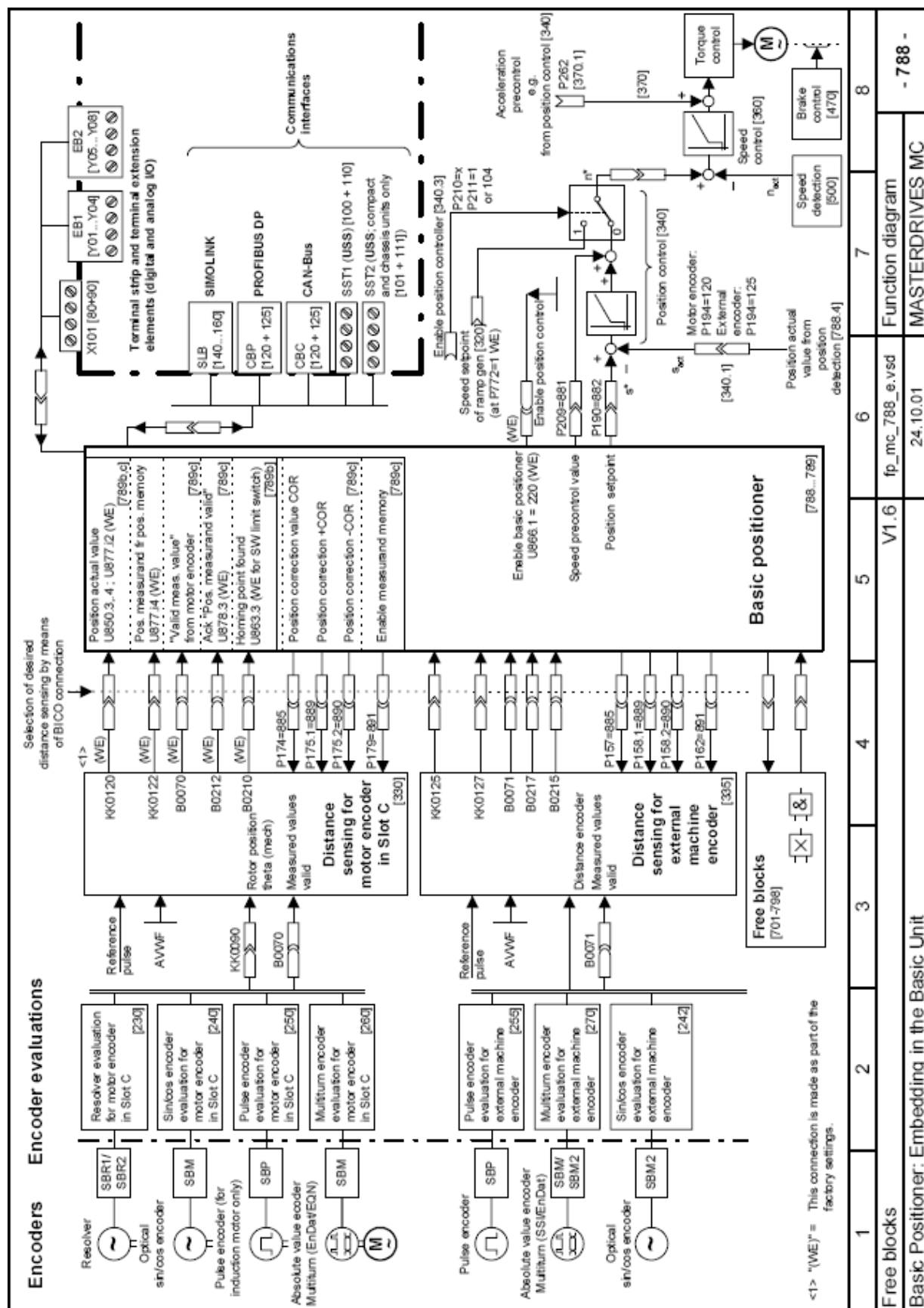
Technologický PID regulátor nepatří mezi FFB, ale byl součástí realizace polohové regulační smyčky stejně jako ostatní volné funkční bloky, proto je společně s nimi zařazen do přílohy A.



Technologický PID regulátor

Príloha C – Podrobná stuktura Basic Positioneru

Funkční diagramy popisující Basic Positioner uváděné v Compendiu [10]



The basic positioner can be used for "simple" positioning tasks.

As can be seen from the "Overview" [788a], the basic positioner consists of three free blocks [789a, b, c] that are set at the factory for the function "Basic positioning with motor encoder" and are fully pre-wired among themselves. (The three blocks can also be used singly for further applications.) It is therefore only necessary to change the desired INPUTS [788a] or in detail on [789a] AND to wire the outputs [788a] or in more detail [789c] as recommended. Enabling (ENABLE POS/REF) is implemented at the factory by means of the feedback signal "Position control enabled", i.e. the basic positioner is enabled via the freely selectable source "Enable position controller" (P210, [340.4]). A graphical overview is given in function diagram 788.

Since almost all variables of the basic positioner (including those between free blocks) are binector inputs/outputs or connector inputs/outputs, the function is controllable both with only one signal and also in parts with the desired process sequence / interlocking. The user must therefore secure the desired function / motion.

A detailed description of the basic positioner is to be found in Section 7.2.3 of this Compendium MASTERDRIVES MC V1.50.

SHORT NOTES

- Concerning use of the basic positioner, insertion of the three free blocks into the T4 time slot is recommended (e.g. on account of the fixed time slot of the position detector motor encoder); i.e. U853.60 = 4, U853.61 = 4, U853.62 = 4
- PRIORITY Modes:
Homing (REF_ON with REF_TYPE = 1) > positioning (POS_ON) > setup (SETUP).
Homing on the fly (REF_ON with REF_TYPE = 0) is always possible, i.e. both in the case of positioning and in the case of setting up.
The transitions occur "on the fly"; the priority always applies, even in the case of simultaneous selection of modes. It is therefore possible to change mode without bringing the axis to a stop.
- "Set-Setpoint-Transfer-Type" (SPV_RIE_TYP) on [789a]:
- In the case of "Constant set-point-transfer" (SPV_RIE_TYP = 1), all set-point inputs are connected through at all times. No relative positioning is possible here (KK874 is set to 0 %).
This also makes it possible, for example, to move the axis to a new position without additional binary control simply by changing the position setpoint.
- In the case of "Transfer with positive edge" (SPV_RIE_TYP = 0 and pos. edge via SPV_RIE), the user can set new setpoints with edge control.
- Direction of rotation of the axis: D_FWD, D_BWD, sign position setpoint ([788a] or in more detail [789a]).
In the case of the linear axis (U858=0), the position setpoint determines the direction of rotation of the axis. In the case of relative positioning it is the sign of the position setpoint that determines the direction of rotation. In the case of absolute positioning of the rotary axis and setup, control binectors D_FWD and D_BWD determine this. (Both HIGH: Axis is stopped // Both LOW with abs. pos. -rotary-axis: shortest distance).
In the case of homing, D_FWD and D_BWD determine the starting direction.
- In the case of relative positioning, "distance to go" does not apply; i.e. renewed POS_ON or SPV_RIE causes renewed travel to an existing relative position setpoint.
- Software limit switches [789b.1]: Please note that the software limit switches need only be activated for the linear axis (U858 (AZL) = 0) and via U865 (end zones).
Furthermore, the software limit switches are arranged at the factory for activation via freely parameterizable input U863.2, 3 with "Axis homing" (AKF-D) OR "Homing point captured" (B210, [330.7]) - cannot be changed by the user.
- Standardizations: As with technology option F01 (Section 9 of this Compendium MASTERDRIVES MC), the same applies here mutatis mutandis, e.g. factory default configuration with motor encoder:
V nom. = Resolution x position-feedback scaling factor x reference speed x 10⁻³
with: V nom.: U856 [788a or 789b] and P205 [340.3] // Resolution: P171 [330.3] // position-feedback scaling factor: P169, P170 or P180, P181 [330.3] // reference speed: P353 [20.5]
- The basic positioner itself generates no fault or warning messages (but these can be configured in basic unit functions or other free blocks).
For the user, this opens up a wide variety of solutions with regard to type of motion, naturally, the types of motion in question must also yield the desired inputs and interlockings.

1	2	3	4	5	6	7	8
Free blocks							
Basic Positioner: General Notes				V1.6	fp_mc_788b_e.vsd	Function diagram	- 788b -
					08.01.02	MASTERDRIVES MC	

